VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

ÚSTAV INFORMATIKY

INSTITUTE OF INFORMATICS

VYUŽITÍ LINEÁRNÍHO PROGRAMOVÁNÍ PŘI OPTIMALIZACI DOPRAVNÍHO PROBLÉMU

THE USE OF LINEAR PROGRAMMING FOR OPTIMIZATION OF TRANSPORT PROBLEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE AUTHOR	Aneta Macharová
VEDOUCÍ PRÁCE SUPERVISOR	doc. Ing. Radek Doskočil, Ph.D., MSc

BRNO 2020

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA PODNIKATELSKÁ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav informatiky
Studentka:	**Aneta Macharová**
Studijní program:	Systémové inženýrství a informatika
Studijní obor:	Manažerská informatika
Vedoucí práce:	**doc. Ing. Radek Doskočil, Ph.D., MSc**
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně zadává bakalářskou práci s názvem:

Využití lineárního programování při optimalizaci dopravního problému

Charakteristika problematiky úkolu:

Úvod
Cíle práce, metody a postupy zpracování
Teoretická východiska práce
Analýza současného stavu
Vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení
Závěr
Seznam použité literatury
Přílohy

Cíle, kterých má být dosaženo:

Hlavním cílem práce je navrhnout model optimalizace dopravního problému ve vybrané firmě s využitím nástrojů lineárního programování.

Základní literární prameny:

ANDERSON, D.R. et al. Quantitative Methods for Business. 13th ed. Boston: Cengage Learning, 2016. ISBN 978-1-285-86631-4.

GRASSEOVÁ, M. a kol. Efektivní rozhodování: analyzování - rozhodování - implementace a hodnocení. Brno: Edika, 2013. ISBN 978-80-266-0179-1.

GROS, I. Kvantitativní metody v manažerském rozhodování. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2003. ISBN 80-247-0421-8.

ŠUBRT, T. a kol. Ekonomicko-matematické metody. 2. upr. vyd. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2015. ISBN 978-80-7380-563-0.

WISNIEWSKI, M. Metody manažerského rozhodování. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 1996. ISBN 80-7169-089-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně dne 29.2.2020

L. S.

doc. RNDr. Bedřich Půža, CSc.
ředitel

doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá procesy, které se dějí ve firmě při optimalizaci nákladů na dopravu. První část se věnuje teoretickému úvodu do metod lineárního programování a distribučních úloh včetně popisu ekonomických a matematických modelů. V této části také přiblížím doplněk Řešitel, který slouží k optimálním výpočtům. Praktická část využívá popsané metody s reálnými daty od firmy Agromex. Firma bude v této části představena, také bude uveden problém, který bude řešen. Představím mnou vytvořené modely, návrhy řešení a výsledky budu interpretovat pomocí výpočtu doplňku Řešitele.

Klíčová slova

Operační výzkum, lineární programování, modelování, logistika, dopravní problém, optimalizace

Abstract

This bachelor’s thesis focuses on methods and processes that take place in the company when optimizing transportation cost factor. The first part deals with the theoretical introduction into linear programming methods and distribution tasks including a description of economic and mathematical models. In this part I will also explain the add-on „The SOLVER" which is used for optimal calculations. The practical part uses the described methods with real data from the company "Agromex"; the company will be introduced in this part. The problem that will be solved will also be listed. I will present the models I have created, proposals for solutions and I will interpret the results using the calculation of the add-on „The SOLVER".

Keywords

Operational research, linear programming, modelling, logistics, traffic problem, optimization

Bibliografická citace

MACHAROVÁ, Aneta. *Využití lineárního programování při optimalizaci dopravního problému.* Brno, 2020. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127602. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav informatiky. Vedoucí práce Radek Doskočil.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná a že jsem ve své práci neporušila autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/200 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 15.05.2020

…………………………….

podpis studenta

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Radku Doskočilovi, Ph.D., MSc za vřelou asistenci, trpělivost při tvorbě této práce a mnohé cenné podněty. Mé poděkování také patří firmě Agromex s.r.o. za spolupráci při získávání údajů k výzkumné části práce.

OBSAH

ÚVOD

Optimalizaci lze popsat jako proces výběru nejlepší varianty z přípustných možností. O výběr nejlepší varianty z přípustných možností půjde i v této bakalářské práci, kde je optimalizace zaměřena na dopravu. Výrobní i obchodní podniky řeší otázky, které se týkají distribučních cest. Jedná se zejména o doručování zboží odběratelům v předem určený čas na dané místo. Snahou je tedy nacházet optimalizované trasy s co nejnižšími náklady na dopravu. Podniky při tomto procesu využívají různých metod výpočtů a musí si být zcela jistí, že právě ono řešení je pro podnik nejvhodnější a přinese mu tak očekávané výsledky. Při řízení dopravy se vedoucí pracovníci setkávají s náročnými situacemi, které musí umět co nejlépe vyhodnotit a vyřešit. Proto jsou na vedoucí pracovníky podniků neustále kladeny vyšší nároky, protože jejich špatné rozhodnutí, může mít pro firmu nepříznivé následky. Při některých problémech se však nemůžeme rozhodnout jen na základě vlastních zkušeností.

Náročnost zákazníků neustále roste a stále se objevuje více činitelů, které jejich rozhodování podstatně ovlivňují. Mezi tyto činitele můžeme zařadit především cenu, kvalitu, reklamu, balení výrobků, ale v současné době se do popředí dostávají i faktory jako způsob a včasnost doručení zboží.

Práce se bude zabývat dopravním problémem u vybrané firmy s cílem nalézt optimalizovanou metodu s nižšími náklady na realizovanou dopravu. Pro rozhodování v této práci bude využito lineárního programování. Lineární programování je součástí operačního výzkumu a má za úkol zjednodušit a řešit konkrétní problém. Mezi problémy, které se dají řešit pomocí lineárního programování patří úlohy výrobního plánování, pořizovací problém, směšovací problém, optimalizace portfolia, úlohy o dělení materiálu, rozvrhování reklamy a také právě dopravní problém.

Problémy, které řešíme pomocí lineárního programování jsou velmi časově náročné a složité. Pro řešení těchto problémů není vhodné intuitivní rozhodnutí. Toto rozhodnutí může vést, například k neefektivnímu rozložení dopravy, práce, výroby nebo financí.

V této práci budou představeny 3 odlišné modely reálných dopravních problémů, které převedu do matematického modelu. Každý z těchto modelů zachycuje dopravní problém za jedno čtvrtletí ve vybrané firmě. Pro řešení problému budu využívat doplněk Řešitel, který je součástí MS Excel a je volně dostupný široké veřejnosti. Řešitel napomáhá v řešení úloh lineárního programování a slouží jako jednoduchý optimalizační nástroj. Pro tento doplněk Řešitel bude vytvořen formulář pomocí jazyku VBA, který umožní zadání dat do základního prostředí MS Excel. Práce s optimalizačními úlohami pomocí vytvořeného formuláře by měla být velmi snadná pro jakéhokoli uživatele.

Tuto práci zpracovávám pro firmu Agromex s.r.o., která se zabývá především prodejem a servisem zemědělských strojů a zahradní techniky.

CÍLE PRÁCE, METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Tato bakalářská práce se zabývá využitím jedné z části operačního výzkumu, konkrétně se jedná o uplatnění metod lineárního programování při dopravním problému.
Úkolem je využít vybrané teoretické znalosti z operačního výzkumu získaného při studiu do praktického využití.
Hlavním cílem práce je tedy navrhnout model optimalizace dopravního problému ve vybrané firmě s využitím nástrojů lineárního programování.
Mezi dílčí cíle práce patří definování pojmů a teoretický popis procesů, které budu v práci využívat. Dále získání dat, jejich příprava na zpracování a analýza s vlastními návrhy řešení pro firmu.
V teoretické části jsou popsané jednotlivé teoretické postupy a metody, jak úlohu řešit a jak postupovat při vyhodnocování výsledků. V analytické části Vám představuji firmu Agromex s.r.o, definuji problém a určím konkrétní cíl, který má být splněn.
V práci budou představeny 3 různé modely s odlišnými dopravními situacemi. Každý model je nutné převést ze slovního popisu do matematického modelu. Mezi nejpoužívanější metody pro úlohy matematického programování je právě lineární programování. Na výpočet matematického modelu používám doplněk Řešitel, který je součástí programu MS Excel. Tyto výsledky jsou dále interpretovány. Pomocí získaných dat a informací je vytvořen díky jazyku VBA formulář, který zlehčuje práci s úlohami lineárního programování. Výsledky z tohoto programu jsou lehce pochopitelné. Po tomto vyhodnocení jsou navržena možná řešení, která by vyřešila problém, který byl zjištěn. Součástí práce je také porovnání optimalizované dopravy s dopravou, která ve firmě probíhala doposud.

1 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

V následující části jsou teoretická východiska a základní pojmy pro lineární programování jako součást operačního výzkumu.

1.1 Operační výzkum

Operační výzkum nebo operační analýza je soubor vědních disciplín, které se zabývají analýzou typů rozhodovacích problémů. Tyto vědní disciplíny nachází aplikace tam, kde se jedná o koordinaci provádění dílčích operací v rámci nějakého systému, abychom dosáhli jeho co nejefektivnějšího fungování posuzované podle předem stanovených kritérií při dodržení všech omezení, která mají na tento systém vliv. Operační výzkum shledává reálné uplatnění především v ekonomii a managementu. (Jablonský, 2002; Kubišová, 2014)

Hlavním nástrojem operačního výzkumu je matematické modelování. Při analýze skutečného systému prostřednictvím jeho modelu musíme přihlížet na to, že model je jen zjednodušeným obrazem daného systému. (Puklický, 2015)

1.1.1 Disciplíny operačního výzkumu

Operační výzkum se zabývá různorodými oblastmi reálného života. Níže jsou uvedeny základní disciplíny operačního výzkumu včetně možností jejich využití v podnikové praxi:

Matematické programování

U matematického programování rozeznáváme dva typy úloh – lineární a nelineární. Když jsou veškerá omezení a kriteriální funkce lineární, jde o lineární programování. O nelineární programování se jedná v případě, kdy je kriteriální funkce nebo alespoň jedna rovnice či nerovnice z omezujících podmínek tvořena nelineárním výrazem. Výsledkem je extrém, minimum nebo maximum kritérií na množině variant určených soustavou omezujících podmínek. (Demel, 2011)

Teorie grafů

U teorie grafů jsou jednotlivé grafy tvořeny uzly a hranami. Dané hrany jsou ohodnocené a vždy uvádíme dva typy – orientované a neorientované. Tento typ se využívá na analýzu distribučních sítí, kde slouží k hledání nejkratší cesty, minimální kostry nebo maximálního toku. Také se používá v projektovém managementu při řízení projektů. (Demel, 2011)

Teorie zásob

Zabývá se tím, jak správně řídit zásobovací proces a optimalizaci objemu skladovaných zásob s tím, že je nutné minimalizovat celkové skladovací náklady nebo maximalizovat zisk. Výstupem z teorie zásob pro podnik bývá především objednávané množství, časový okamžik objednání a hladina objednání, což je množství zásoby na skladě, při kterém se provádí objednávka. (Demel, 2011)

Markovské rozhodovací procesy

Popisuje chování dynamických systémů, u kterých je možné, že se ve sledovaných časových úsecích budou nacházet vždy v některém z konečného počtu stavů. Hlavním cílem je predikce chování takového systému v budoucnu. (Demel, 2011)

Teorie her

Vyhodnocuje optimální strategie chování účastníků rozhodovacích situací, kteří si navzájem konkurují. Ukázkou v praxi může být stav, kdy se podnik rozmýšlí, jakého veletrhu se zúčastní a jak velkou expozici na něj rozvrhne s ohledem na chování svého konkurenta. (Puklický, 2015)

1.2 Lineární programování

Lineární programování můžeme zařadit mezi jednu z nejvíce propracovaných aplikovaných metod operační analýzy. Jedním z důvodů může být, že spousta manažerských problémů je možné vyjádřit pomocí lineárního programování nebo pokud je možné problém vyjádřit formou úlohy lineárního programování, pak máme k dispozici nástroje pro jeho rychlé a snadné řešení. V každém problému, který je řešen pomocí lineárního programování je cílem minimalizace nebo maximalizace. (Doskočil, 2011)

Lineární programování jako subdisciplína matematického programování nám umožňuje formulovat komplikovaný problém z reálného života pomocí matematicky vyjádřených proměnných a poté tento problém řešit pomocí matematických postupů a metod. Jde o způsob řešení problémů, který napomáhá manažerům při jejich rozhodování. (Malá, 2005)

Při řešení problému lineárního programování musí být omezující podmínky zcela dodrženy, v rámci těchto omezujících podmínek musíme nalézt nejlepší přípustné řešení. (Šubrt, 2015)

1.2.1 Historie lineárního programování

Historie lineárního programování se datuje do poválečných let. Je spjata hlavně se jmény jako je George B. Dantzig, který vydal práci o simplexové metodě v roce 1947, John von Neumann, který vypracoval teorii duality také v roce 1947, Leonid Kantorovich, ruský matematik, který využil podobných postupů v ekonomice ještě dříve než Datzing. (Rada, 2007)

K značnému zájmu o vývoj a rozvoj lineárního programování došlo zejména z důvodu opakovaného řešení složitých problémů, které byly vlastně jen součástí opakujícího se algoritmu.

1.2.2 Formulace úlohy lineárního programování

U praktické části lineárního programování postupujeme ve čtyřech hlavních fázích:

I. Formulace ekonomického modelu

Zjednodušený popis reálného systému, který obsahuje:

1. Cíl, kterého chceme pomocí ovlivňování procesů dosáhnout.
2. Popis procesů, které v systému probíhají a které mají vliv na stanovený cíl. Jde o reálné činnosti či aktivity, které chceme optimalizovat.
3. Popis činitelů ovlivňujících úroveň procesu. Z pohledu vstupů a výstupů jde o neřiditelné vstupy vystupující v matematickém modelu jako konstanty.
4. Popis vzájemného vztahu mezi procesy, činiteli a cílem.
   (Doskočil, 2011)

II. Formulace matematického modelu

Můžeme říct, že ekonomický model je slovním a numerickým popisem řešeného problému. Aby bylo možné daný problém řešit, je třeba jej formalizovat – převést ekonomický model na model matematický. Matematický model obsahuje stejnou strukturu jako model ekonomický:

1. Cíl, který je vyjádřen jako lineární funkce z = f(x), jejíž extrém potřebujeme nalézt. Tuto funkci nazýváme účelová.
2. Každému procesu je přiřazena jedna proměnná. Hodnoty proměnných se interpretují jako úrovně jednotlivých procesů, které mají vliv na stanovený cíl.
3. Činitelům odpovídají úlohy lineárního programování lineární rovnice nebo lineární nerovnice. (Doskočil, 2011)

III. Výpočet matematického modelu

Výpočet matematického modelu je zobrazen v kapitole vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení.

IV. Ekonomická / věcná interpretace řešení

V této fázi je zapotřebí srozumitelně interpretovat vypočtené výsledky pro všechny zainteresované strany. Výsledky dále zhodnotíme a vyvodíme závěry, které povedou k rozhodnutí problému. (Doskočil, 2011)

1.2.3 Fáze řešení lineárního programování

Postup řešení lineárního programování můžeme rozdělit do jednotlivých fází, které na sebe navazují.

1. Identifikace problému
2. Definice problému
3. Struktura problému
4. Analýza problému
5. Interpretace výsledků a rozhodnutí o vhodném řešení problému
6. Realizace rozhodnutí
7. Kontrola výsledků (Gros, 2003)

1.2.4 Typy úloh lineárního programování

Lineární programování tedy umožňuje plánovat realizaci procesů tak, aby byl zabezpečen optimální výsledek ve vztahu k požadovanému cíli. (Jablonský, 1998)

Tuto metodu můžeme využít, například při řešení problémů, které lze rozdělit na následující typy:

Úloha výrobního plánování

K těmto úlohám můžeme přiřadit vytvoření optimálního výrobního plánu určité společnosti. Zde řešíme příklady jako je dělení materiálu, sortimentní problém, kde určíme za jakou dobu se kolik kusů výrobku má vyrobit. (Doskočil, 2011; Zaoralová, 2012)

Distribuční úlohy

Úlohy distribučního typu řeší problém, který se zabývá dopravními problémy nebo rozložením pracovníků na jednotlivých stanoviskách. Jedná se tedy o optimalizaci rozvozu zboží od dodavatele k odběrateli, tak abychom splnili podmínky zákazníka a současně naplnili kapacity dopravců. (Doskočil, 2011; Zaoralová, 2012)

Nutriční problém

Příkladem může být složení jídelníčku, který má za úkol obsahovat jeho potřeby. Jídelníček je tedy složen z doporučených denních dávek a taky cílů, které chceme dosáhnout, například zlepšení špatných stravovacích návyků nebo snížení hmotnosti. (Záhorovský, 2011)

Směšovací problém

Směšovací problém řeší vytvoření směsi, mixu předem požadovaných vlastností. Cílem je nalezení složení optimální směsi z daných komponentů a minimalizování nákladů na tvorbu této směsi. (Doskočil, 2011)

Optimalizace portfolia

Optimalizace portfolia nebo také úloha finančního plánování má za úkol rozdělení kapitálu jednotlivých investičních variant. Cíle této úlohy jsou maximalizace zisku, minimalizace rizika spojená s investicí. (Doskočil, 2011)

Úloha o dělení materiálu

Úkoly se týkají dělení materiálu na stanovený počet kusů nebo částí tak, aby byl minimalizován zbylý materiál. Vstupními informacemi jsou zde rozměry výchozích zdrojů, rozměry požadovaných dílů a počet jednotlivých kusů. Výstupem je plán optimálního dělení. (Zimola, 2000)

Rozvrhování reklamy

Tento typ využíváme pro vhodné rozložení peněžních prostředků na různé typy reklamních medií takovým způsobem, aby výsledný efekt reklamy byl maximalizován, např. počet shlédnutí těchto reklam. (Jablonský, 1998)

1.3 Logistika

„Logistické řízení je proces plánování, realizace a řízení efektivního, výkonového toku a skladování zboží, služeb a souvisejících informací z místa vzniku do místa spotřeby, jehož cílem je uspokojit požadavky zákazníků.“ (Council of Logistics Management, začátek 60. let)

1.3.1 Cíle logistiky

Za základní cíl logistiky můžeme považovat optimální uspokojování potřeb zákazníka. Dodávky musí být provedeny na vyžadované úrovni s minimálními náklady. Zdali je tento cíl splněn můžeme pozorovat ze dvou hledisek, a to výkonového a ekonomického. Výkonový cíl je specifikovaný tím, že požadované množství zboží či materiálu musí být doručeno na správné místo v předem stanovený čas, a to ve správném množství, druhu a kvalitě. Ekonomický cíl by měl být naplněn zabezpečením dopravních služeb s minimálními náklady. (Cíle logistiky, 2011)

Vyšší úroveň služeb a větší počet zákazníků vede k růstu nákladů. Na trhu většinou několik výrobců nabízí stejné výrobky za stejné ceny. Větší úspěch bude mít výrobce, který dodává zboží pravidelně, ve správném množství a okamžiku s nízkými náklady. Cílem tedy je snížit náklady na dopravu. (Cíle logistiky, 2011)

1.3.2 Dopravní logistika

Dopravní logistika je součástí komplexního vědního oboru a patří do ní především vědomosti z oblasti systémů dopravní obsluhy neboli distribučních úloh a dopravních problémů. Nyní patří tato oblast logistiky mezi nejznámější a nejvíce používané. Často bývá zaměněna s celkovým oborem logistické vědy. Dopravní logistika je druhou největší oblastí aplikace logistické vědy. Díky úrovni dopravní infrastruktury se rozvíjí dopravní logistika. (Rada, 2017)

Dopravní logistika koordinuje, synchronizuje a optimalizuje pohyb zakázek po dopravní síti od místa jejich vstupu do logistického systému až po místo jejich výstupu z logistického systému. Koordinuje, synchronizuje a optimalizuje tedy i prostorové rozmístění, kapacity a pohyby všech prostředků a zařízení z důvodu potřebné součinnosti k uskutečnění doručení zakázky. (Rada, 2017)

1.3.3 Silniční doprava

„Silniční doprava je doprava, při níž se zajišťuje přemísťování osob a věcí silničními vozidly (silničními dopravními prostředky), jakož i přemísťování silničních vozidel samých po pozemních komunikacích, dopravních plochách a volném terénu.“ (Fiala, 2011)

Mezi charakteristiky silniční dopravy můžeme zařadit:

• nejnižší doba přepravy

• hustá síť silniční infrastruktury umožňující silničnímu dopravci dosáhnout kteréhokoliv místa dle požadavku

• flexibilnost (vozidlo může být kdykoli posláno ke splnění dopravního úkolu)

• nízké výpravní fixní náklady

• termínově přesné a rychlé dodávky
• pestrý vozový park dopravních prostředků používaných v silniční dopravě
• nízká administrativní obtížnost v přepravě
• vysoká bezpečnost zboží v přepravě, zboží je stále pod dohledem řidiče (Fiala, 2011)

1.4 Dopravní problém

Dopravní úloha se zabývá problémem, jak uskutečnit přepravu homogenního zboží od dodavatelů k odběratelům, aby náklady na dopravu byly minimální. (Šubrt, 2015)
Jde tedy o optimalizaci rozvozu materiálu (množství x_{ij}) od dodavatele k odběrateli takovým způsobem, aby byly splněny požadavky odběratele a zároveň byly využity kapacity dodavatele. (Dorda, 2012)

Prvky:

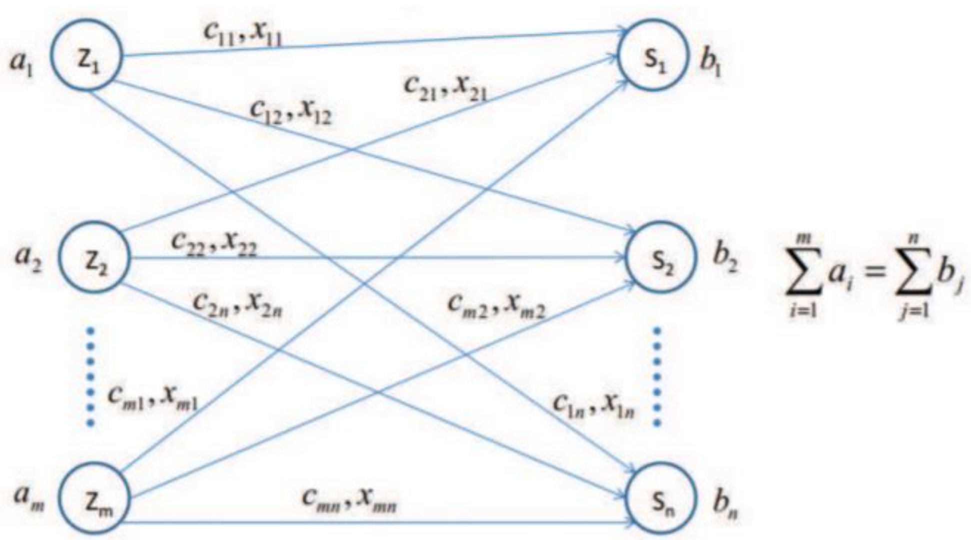
- m dodavatelů $D_1, \ldots, D_m$ s kapacitou $a_1, \ldots, a_m$
- n odběratelů $O_1, \ldots, O_n$ s požadavky $b_1, \ldots, b_n$
- ceny, sazby c_{ij} za přepravu jednotky produktu mezi D_i a O_i (Šubrt, 2015)

1.4.1 Vyrovnanost dopravního problému

Uvažujme rovnost celkových kapacit všech dodavatelů se součtem požadavků všech odběratelů, tj.

$$\sum a_i = \sum b_i$$

Jedná se o vyrovnaný dopravní problém. V praktických úlohách je však tato podmínka často porušena. Proto je nutné dopravní úlohy, kde není objem kapacit dodavatelů roven objemu požadavků odběratelů vyvážit. (Šubrt, 2015)



Obrázek 1: Vyrovnaný dopravní problém (Zdroj: Dorda, 2012)

Pokud je objem kapacit dodavatelů větší než objem požadavků odběratelů, tj.

$$\sum a_i > \sum b_i$$

Je nutné do dopravní úlohy doplnit fiktivního odběratele s požadavkem, který je roven přebytečnému množství zboží. Trasy fiktivního odběratele jsou ohodnoceny nulovými sazbami, protože tyto dodávky se ve skutečnosti nerealizují. (Šubrt, 2015)

Pokud je objem požadavků odběratelů větší než objem kapacit dodavatelů, tj.

$$\sum a_i < \sum b_i$$

Je nutné do dopravní úlohy doplnit fiktivního dodavatele s kapacitou, která je rovna objemu požadavků odběratelů, které nemohou být uspokojeny. Trasy fiktivního odběratele jsou ohodnoceny nulovými sazbami, protože tyto dodávky se ve skutečnosti nerealizují. (Šubrt, 2015)

1.4.2 Dopravní tabulka

Veškeré údaje o dopravním problému se zapisují do dopravní tabulky, kde řádky jsou vymezeny pro dodavatele a sloupce pro odběratele. V každém poli je v pravém horním rohu uvedena sazba c_{ij} a ve středu pole uvádíme množství přepravovaného zboží. Tam kde není uvedeno množství přepravovaného zboží znamená, že se tato trasa nerealizuje. Do pravého sloupce zapisujeme kapacity dodavatelů a do spodního řádku požadavky odběratelů. (Šubrt, 2015)

Tabulka 1: Dopravní tabulka (Zdroj: Šubrt, 2015)

	Spotřebitelé				
Dodavatelé	O_1	O_1	…	O_n	Kapacity dodavatelů a_j
D_1	c_{11} x_{11}	c_{12} x_{12}	…	c_{1n} x_{1n}	a_1
D_2	c_{21} x_{21}	c_{22} x_{22}	…	c_{2n} x_{2n}	a_2
…	…	…	…	…	…
D_m	c_{m1} x_{m1}	c_{m2} x_{m2}	…	c_{mn} x_{mn}	a_m
Požadavky odběratelů b_j	b_1	b_2	…	b_n	$\sum a_i = \sum b_i$

1.4.3 Matematický model dopravního problému

Matematický model je složen ze tří částí:

1. Účelová funkce, která znázorňuje závislost mezi strukturou dopravy a celkovými dopravními náklady.
2. Soustava omezujících podmínek, která je zadaná jako soustava rovnic. Prvních m rovnic udává, že každý dodavatel dodá odběratelům přesně tolik zboží, kolik je jeho kapacita. Dalších n rovnic udává, že každý odběratel odebere od dodavatelů tolik produktů, kolik je jeho požadavek.
3. Podmínka nezápornosti všech proměnných x_{ij} říká, že není možné přepravovat záporné množství zboží. (Šubrt, 2015)

1.4.4 Bazické řešení dopravního problému

Soustava omezujících podmínek:

$$
\begin{array}{lllllllr}
x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1n} & & & & & & & = a_1 \\
& x_{21} + x_{22} + x_{2n} & & & & & & = a_2 \\
. \\
. \\
. \\
& & & x_{m1} + x_{m2} + \dots + x_{mn} & & & & = a_m \\
x_{11} + & x_{21} + \dots & & + x_{m1} & & & & = b_1 \\
x_{12} + & x_{22} + \dots & & + x_{m2} & & & & = b_2 \\
. \\
. \\
. \\
x_{1n} + & x_{2n} + \dots & & + x_{mn} & & & & = b_n
\end{array}
$$

Soustavu omezujících podmínek tvoří $m + n$ rovnic o $m * n$ proměnných, protože součet kapacit se rovná součtu požadavků. Platí, že vždy je jedna z těchto rovnic lineárně závislá na ostatních. Je patrné, že vektory koeficientů obsahují vždy dvě jedničky, ostatní souřadnice jsou nulové. (Šubrt, 2015)

1.4.5 Řešení dopravní úlohy

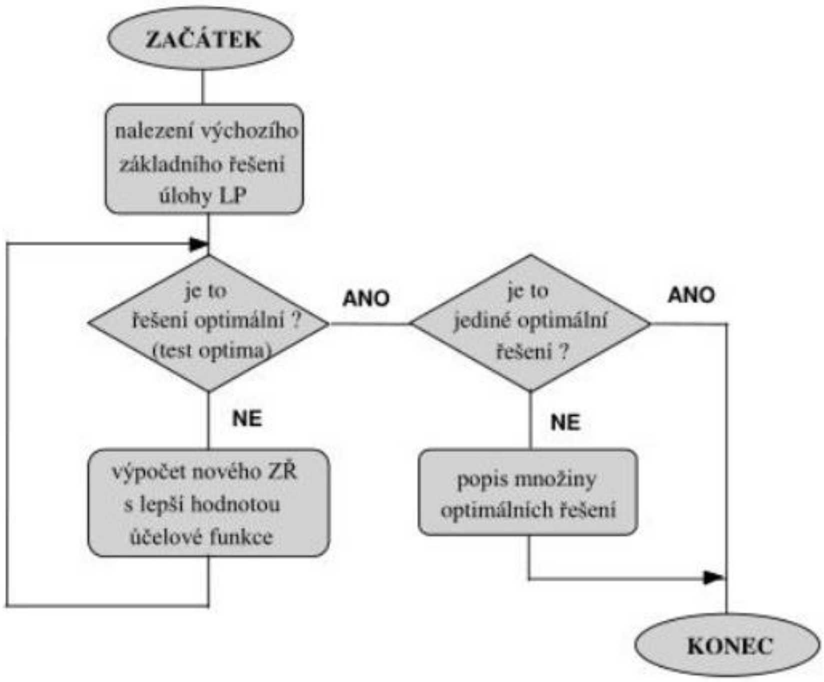
Na určení řešení dopravní úlohy existuje několik metod. Představena budou následující, kterou pro výpočet optimálního řešení v této práci využívám:

Počítačové řešení

Při řešeních praktických úloh lineárního programování se často využívají programy, které jsou součástí tabulkových procesorů. Důvodem použití těchto programů je to, že praktické problémy obsahují obvykle větší množství proměnných, omezujících podmínek a také z důvodu rychlosti řešení. (Wisniewski, 1996)

Simplexová metoda

Tato metoda představuje iterační výpočetní postup pro nalezení optimálního řešení úlohy lineárního programování. Algoritmus simplexové metody je zobrazen na obrázku č. 2. V prvním kroku je potřeba najít výchozí základní řešení úlohy lineárního programování. Pokud máme takové řešení nalezeno, tak simplexová metoda v další fázi vypočte nové základní řešení s lepší nebo stejnou účelovou funkcí. Po ukončení jednotlivých fází dojde k nalezení základního řešení nebo dojdeme k závěru, že takové řešení neexistuje. Simplexovou metodu můžeme dělit na jednofázovou a dvoufázovou. (Doskočil, 2011)



Obrázek 2: Algoritmus simplexové metody (Zdroj: Doskočil, 2011)

Jednofázová simplexová metoda

V některých případech je nalezení výchozího základního řešení velmi snadné, a tak odpadá první fáze výpočtu. Jednofázová simplexová metoda obsahuje pouze nerovnice typu „ ≤ “ a do řešení nevstupují umělé proměnné. (Jablonský, 2002)

Dvoufázová simplexová metoda

Ve většině případů není nalezení výchozího základního řešení snadné nebo takové řešení nemusí ani existovat. V tomto případě je první fáze výpočtu nezbytná. Pro výpočet v těchto případech mluvíme o dvoufázové simplexové metodě. (Doskočil, 2011)

1.5 Doplněk Řešitel

Za pomocný program pro řešení úloh lineárního programování v mé bakalářské práci jsem si vybrala doplněk MS Excel – Řešitel, který je vhodný pro řešení standartních úloh matematického programování. Řešitel využíváme při minimalizaci a maximalizaci cílového pole. Pomocí tohoto doplňku můžeme řešit lineární i nelineární optimalizační úlohy, které jsou omezeny počtem proměnných a omezujících podmínek. Může jich být až několik set, což pro mnou zvolenou firmu dostačuje. Kdybychom řešili úlohy lineárního programování, která má větší rozsah použili bychom specializovanější programy. (Doskočil, 2011)

V cílovém poli je nadefinovaná účelová funkce, která je závislá na omezujících podmínkách jiných políček se vzorcem. Řešitel pracuje se skupinou polí, nazývanými jako rozhodovací proměnné, které se využívají ve výpočtech cílových polí a polí s omezením. Doplněk upravuje hodnoty rozhodovacích proměnných tak, aby se nepřesáhly limity polí s omezením a získal se požadovaný výsledek pro pole s účelovou funkcí. (Define and solve a problem by using Solver, 2019)

Po přípravě vstupních dat specifikujeme v dialogovém okně Parametry Řešitele. Zadáme, zda se jedná o maximalizaci či minimalizaci účelové funkce. Následně vybereme oblast proměnných a definujeme omezující podmínky. Po vyplnění veškerých všech atributů zvolíme jednu ze tří metod řešení. (Doskočil, 2011)

Pomocí menu Možnosti nastavíme parametry pro správné zpracování úlohy. Mezi tyto parametry patří:

1. Přesnost omezující podmínky, která bývá nastavena na hodnotu 0,000001. Pokud ji zvýšíme, může dojít k rychlejšímu výpočtu, ale také ke snížení přesnosti výsledku.

2. Optimalita celých čísel neboli procentní odchylka pro celočíselné řešení. Zde platí stejné pravidlo jako u přesnosti omezující podmínky.
3. Maximální čas, který bývá nastaven na hodnotu 100 vteřin. Po této době je výpočet pozastaven. Uživatel může ve výpočtu pokračovat nebo výpočet ukončit.
4. Interace, která bývá nastavena na hodnotu 100. Po uplynutí je výpočet pozastaven. Uživatel může ve výpočtu opět pokračovat nebo výpočet ukončit. (Doskočil, 2011)

Pokud máme definovány všechny potřebné údaje můžeme spustit zpracování úlohy pomocí menu Řešit. (Doskočil, 2011)

2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

V této části představím společnost AGROMEX, s.r.o., která mi poskytla veškerá potřebná data týkající se dopravního problému a zadala mi problém, který budu řešit.

2.1 Popis společnosti AGROMEX, s.r.o.

Společnost na trhu působí již od roku 2003. Firma se zabývá prodejem a servisem zemědělských strojů a zahradní techniky. V nabídce je také dopravní technika (rozmetadla, silážní a překládací vozy, sklápěče a další), náhradní díly, traktory. Agromex, s.r.o. má v České republice 6 poboček (Brno, České Budějovice, Modletice, Myslinka, Starý Jičín a Želkovice).

2.2 Sběr vstupních dat

Vstupní data mi poskytovala účetní vybrané firmy z pobočky Brno. Data pro výpočet c_{ij} byla získána z účetnictví a operativních záznamů, vzdálenosti mezi jednotlivými odběrateli a dodavateli byly zjištěny pomocí Google Maps. Kapacity dodavatelů z inventur a požadavky odběratelů z jednotlivých objednávek zboží.

2.3 Získaná data

Na vytvoření modelů byly zvoleny tři odlišné situace při dopravě, které ve firmě probíhají. U první situace bude převis nabídky nad poptávkou, proto bude doplněn fiktivní odběratel. V druhém případě bude převis poptávky nad nabídkou, kde bude doplněn fiktivní dodavatel. Ve třetím případě bude opět převis poptávky nad nabídkou, bude méně odběratelů než v předchozích modelech a budou muset být přesně splněny požadavky dvou odběratelů. Tyto modely byly zvoleny z toho důvodu, že se ve firmě nejčastěji vyskytují právě tyto situace. Tedy situace, kdy je převis nabídky nad poptávkou, převis poptávky nad nabídkou či různý počet odběratelů. Vyrovnanost nabídky a poptávky se vyskytuje opravdu jen velmi zřídka.

Tabulka 2: Celkové náklady na dopravu (Zdroj: Agromex)

	Model 1	Model 2	Model 3
Celkové náklady na dopravu v Kč	114 211,6	113 625,5	144 375,2

2.4 Příprava vstupních dat

V následující části bude zobrazena příprava vstupních dat pro model 1, model 2 a model 3. Máme zde 6 dodavatelů: Brno, České Budějovice, Modletice, Myslinka, Starý Jičín a Želkovice. Dodavatelé přepravují zboží šesti odběratelům: Kynšperk nad Ohří, Klatovy, Slaný, Opava, Hodkovice nad Mohelkou a Týniště nad Orlicí. Informace o kapacitách ve sledovaném období byly vypočteny díky známému nynějšímu počtu kapacit na skladech, známosti požadavků, které budou přepraveny do doby sledovaného období a také známému počtu kusů zboží na skladech, které přibydou do sledovaného období. Požadavky odběratelů byly získány z objednávek zboží pro sledované období.

V tabulce č. 3 je uvedena hodinová mzda řidiče, cena pohonných hmot za 1 h, která byla vypočtena z průměrné spotřeby kamionu (28,75 l/100 km) při průměrné rychlosti kamionu (85 km/h) a ceny za PHM (32 Kč/l). Dále je v tabulce č. 3 uvedena cena celkem za hodinu a cena za 1 km. V jednotlivých modelech budou vypočteny i distribuční náklady mezi dodavateli a odběrateli na 1 kus zboží.

Tabulka 3: Cena za 1 km (Zdroj: Agromex)

Mzda řidiče	200 Kč/h
PHM	782 Kč/h
Ujetá trasa	85 km/h
Cena celkem	982 Kč/h
Cena za 1 km	11,55294118 Kč

2.4.1 Model 1

Vybraná firma realizuje dopravu zboží z 6 poboček (Brno - D1, České Budějovice – D2, Modletice – D3, Myslinka – D4, Starý Jičín – D5 a Želkovice – D6), ve kterých skladují náhradní díly. Kapacita těchto poboček v 3. čtvrtletí roku 2020 (červenec – září) bude 40, 92, 60, 72, 56 a 36 ks náhradních dílů (ve výše uvedeném pořadí poboček dodavatelů), celkem 356 ks. Náhradní díly budou distribuovány šesti odběratelům. Požadavky jednotlivých odběratelů jsou 16, 80, 38, 62, 72 a 56 ks zboží čtvrtletně (v pořadí Kynšperk nad Ohří – O1, Klatovy – O2, Slaný – O3, Opava – O4, Hodkovice nad Mohelkou – O5 a Týniště nad Orlicí – O6), celkem 324 ks.

V tabulce č. 4 jsou uvedeny distribuční náklady pro model 1 mezi dodavateli a odběrateli na 1 kus zboží.

Tabulka 4: Cena za 1 km na 1 kus zboží u modelu 1 (Zdroj: Agromex)

Mzda řidiče	200 Kč/h
PHM	782 Kč/h
Ujetá trasa	85 km/h
Cena celkem	982 Kč/h
Cena za 1 km	11,55294118 Kč
Cena za 1 km na 1 kus zboží	0,035657226 Kč

V tabulce č. 5 jsou vyjádřeny jednotlivé trasy v kilometrech (km) a poté v Korunách českých (Kč). Korunové náklady představují náklady vynaložené na převoz jedné jednotky zboží od dodavatele k odběrateli.

Tabulka 5: Ocenění tras modelu 1 (Zdroj: Agromex)

Trasa	Vzdálenost [km]	c_{ij} [Kč]
[D1, O1]	375	13,37145969
[D1, O2]	337	12,01648511
[D1, O3]	255	9,092592593
[D1, O4]	166	5,919099492
[D1, O5]	299	10,66151053
[D1, O6]	136	4,849382716
[D2, O1]	238	8,486419753
[D2, O2]	112	3,993609296
[D2, O3]	193	6,88184459
[D2, O4]	388	13,83500363
[D2, O5]	237	8,450762527
[D2, O6]	273	9,734422658
[D3, O1]	185	6,596586783
[D3, O2]	147	5,2416122
[D3, O3]	65	2,31771968
[D3, O4]	356	12,6939724
[D3, O5]	110	3,922294844
[D3, O6]	146	5,205954975
[D4, O1]	97	3,458750908
[D4, O2]	52	1,854175744
[D4, O3]	131	4,671096587
[D4, O4]	484	17,25809731
[D4, O5]	213	7,594989107
[D4, O6]	249	8,878649237
[D5, O1]	502	17,89992738
[D5, O2]	464	16,5449528
[D5, O3]	382	13,62106028
[D5, O4]	51	1,818518519
[D5, O5]	291	10,37625272
[D5, O6]	192	6,846187364
[D6, O1]	287	10,23362382
[D6, O2]	258	9,19956427
[D6, O3]	165	5,883442266
[D6, O4]	258	9,19956427
[D6, O5]	73	2,602977487
[D6, O6]	37	1,319317357

2.4.2 Model 2

Vybraná firma realizuje dopravu zboží z 6 poboček ((Brno - D1, České Budějovice – D2, Modletice – D3, Myslinka – D4, Starý Jičín – D5 a Želkovice – D6), ve kterých skladují náhradní díly. Kapacita těchto poboček v 3. čtvrtletí roku 2020 (červenec – září) bude 40, 92, 60, 72, 56 a 36 ks náhradních dílů (ve výše uvedeném pořadí poboček dodavatelů), celkem 356 ks. Náhradní díly budou distribuovány šesti odběratelům. Předpokládejme, že požadavky odběratelů budou vyšší než kapacity dodavatelů, tedy 35, 93, 49, 65, 75 a 68 ks zboží čtvrtletně (v pořadí Kynšperk nad Ohří – O1, Klatovy – O2, Slaný – O3, Opava – O4, Hodkovice nad Mohelkou – O5 a Týniště nad Orlicí – O6), celkem 385 ks.

V tabulce č. 6 jsou uvedeny distribuční náklady pro model 2 mezi dodavateli a odběrateli na 1 kus zboží.

Tabulka 6: Cena za 1 km na 1 kus zboží u modelu 2 (Zdroj: Agromex)

Mzda řidiče	200 Kč/h
PHM	782 Kč/h
Ujetá trasa	85 km/h
Cena celkem	982 Kč/h
Cena za 1 km	11,55294118 Kč
Cena za 1 km na 1 kus zboží	0,032452082 Kč

V tabulce č. 7 jsou vyjádřeny jednotlivé trasy v kilometrech (km) a poté v Korunách českých (Kč). Korunové náklady představují náklady vynaložené na převoz jedné jednotky zboží od dodavatele k odběrateli.

Tabulka 7: Ocenění tras modelu 2 (Zdroj: Agromex)

Trasa	Vzdálenost [km]	c_{ij} [Kč]
[D1, O1]	375	12,16953073
[D1, O2]	337	10,93635162
[D1, O3]	255	8,275280899
[D1, O4]	166	5,387045605
[D1, O5]	299	9,703172505
[D1, O6]	136	4,413483146
[D2, O1]	238	7,723595506
[D2, O2]	112	3,634633179
[D2, O3]	193	6,263251818
[D2, O4]	388	12,5914078
[D2, O5]	237	7,691143424
[D2, O6]	273	8,859418374
[D3, O1]	185	6,003635162
[D3, O2]	147	4,770456048
[D3, O3]	65	2,109385327
[D3, O4]	356	11,55294118
[D3, O5]	110	3,569729015
[D3, O6]	146	4,738003966
[D4, O1]	97	3,14785195
[D4, O2]	52	1,687508262
[D4, O3]	131	4,251222736
[D4, O4]	484	15,70680767
[D4, O5]	213	6,912293457
[D4, O6]	249	8,080568407
[D5, O1]	502	16,29094514
[D5, O2]	464	15,05776603
[D5, O3]	382	12,39669531
[D5, O4]	51	1,65505618
[D5, O5]	291	9,443555849
[D5, O6]	192	6,230799736
[D6, O1]	287	9,313747521
[D6, O2]	258	8,372637145
[D6, O3]	165	5,354593523
[D6, O4]	258	8,372637145
[D6, O5]	73	2,369001983
[D6, O6]	37	1,200727032

2.4.3 Model 3

Vybraná firma realizuje dopravu zboží z 6 poboček ((Brno - D1, České Budějovice – D2, Modletice – D3, Myslinka – D4, Starý Jičín – D5 a Želkovice – D6), ve kterých skladují náhradní díly. Kapacita těchto poboček v 3. čtvrtletí roku 2020 (červenec – září) bude 40, 92, 60, 72, 56 a 36 ks náhradních dílů (ve výše uvedeném pořadí poboček dodavatelů), celkem 356 ks. Náhradní díly byly distribuovány pěti odběratelům (Opava nyní zboží neodebírá). Předpokládejme, že požadavky odběratelů budou vyšší než kapacity dodavatelů, tedy 46, 96, 74, 75 a 85 ks zboží čtvrtletně (v pořadí Kynšperk nad Ohří – O1, Klatovy – O2, Slaný – O3, Hodkovice nad Mohelkou – O5 a Týniště nad Orlicí – O6), celkem 376 ks. Odběratelé ze Slaného a z Hodkovic nad Mohelkou požadují přesné splnění své zakázky.

V tabulce č. 8 jsou uvedeny distribuční náklady pro model 3 mezi dodavateli a odběrateli na 1 kus zboží.

Tabulka 8: Cena za 1 km na 1 kus zboží u modelu 3 (Zdroj: Agromex)

Mzda řidiče	200 Kč/h
PHM	782 Kč/h
Ujetá trasa	85 km/h
Cena celkem	982 Kč/h
Cena za 1 km	11,55294118 Kč
Cena za 1 km na 1 kus zboží	0,032452082 Kč

V tabulce č. 9 jsou vyjádřeny jednotlivé trasy v kilometrech (km) a poté v Korunách českých (Kč). Korunové náklady představují náklady vynaložené na převoz jedné jednotky zboží od dodavatele k odběrateli.

Tabulka 9: Ocenění tras modelu 3 (Zdroj: Agromex)

Trasa	Vzdálenost [km]	c_{ij} [Kč]
[D1, O1]	375	12,16953073
[D1, O2]	337	10,93635162
[D1, O3]	255	8,275280899
[D1, O5]	299	9,703172505
[D1, O6]	136	4,413483146
[D2, O1]	238	7,723595506
[D2, O2]	112	3,634633179
[D2, O3]	193	6,263251818
[D2, O5]	237	7,691143424
[D2, O6]	273	8,859418374
[D3, O1]	185	6,003635162
[D3, O2]	147	4,770456048
[D3, O3]	65	2,109385327
[D3, O5]	110	3,569729015
[D3, O6]	146	4,738003966
[D4, O1]	97	3,14785195
[D4, O2]	52	1,687508262
[D4, O3]	131	4,251222736
[D4, O5]	213	6,912293457
[D4, O6]	249	8,080568407
[D5, O1]	502	16,29094514
[D5, O2]	464	15,05776603
[D5, O3]	382	12,39669531
[D5, O5]	291	9,443555849
[D5, O6]	192	6,230799736
[D6, O1]	287	9,313747521
[D6, O2]	258	8,372637145
[D6, O3]	165	5,354593523
[D6, O5]	73	2,369001983
[D6, O6]	37	1,200727032

3 VLASTNÍ NÁVRHY ŘEŠENÍ, PŘÍNOS NÁVRHŮ ŘEŠENÍ

3.1 Formulace ekonomického modelu

V následující části budou ekonomicky formulované zadané problémy.

3.1.1 Model 1

Zaokrouhlené hodnoty vypočítaných přepravních sazeb jsou zobrazeny v tabulce. V tabulce jsou také uvedeny kapacity dodavatelů a požadavky odběratelů. Vzhledem k tomu, že se jedná o nevyrovnaný dopravní problém s převisem nabídky nad poptávkou, je zde doplněn fiktivní odběratel - OF.

Tabulka 10: Dopravní tabulka-formulace ekonomického modelu 1 (Zdroj: Vlastní práce)

	Kynšperk	Klatovy	Slaný	Opava	Hodkovice	Týniště	OF	Kapacita dodavatelů v ks
Brno	13,371 x_{11}	12,016 x_{12}	9,093 x_{13}	5,919 x_{14}	10,662 x_{15}	4,849 x_{16}	0 x_{17}	40
České Budějovice	8,486 x_{21}	3,994 x_{22}	6,882 x_{23}	13,835 x_{24}	8,451 x_{25}	9,734 x_{26}	0 x_{27}	92
Modletice	6,597 x_{31}	5,242 x_{32}	2,318 x_{33}	12,694 x_{34}	3,922 x_{35}	5,206 x_{36}	0 x_{37}	60
Myslinka	3,459 x_{41}	1,854 x_{42}	4,671 x_{43}	17,258 x_{44}	7,595 x_{45}	8,879 x_{46}	0 x_{47}	72
Starý Jičín	17,899 x_{51}	16,545 x_{52}	13,621 x_{53}	1,819 x_{54}	10,376 x_{55}	6,846 x_{56}	0 x_{57}	56
Želkovice	10,234 x_{61}	9,199 x_{62}	5,883 x_{63}	9,199 x_{64}	2,603 x_{65}	1,319 x_{66}	0 x_{67}	36
Požadavky odběratelů v ks	16	80	38	62	72	56	32	356/356

3.1.2 Model 2

Zaokrouhlené hodnoty vypočítaných přepravních sazeb jsou zobrazeny v tabulce. V tabulce jsou také uvedeny kapacity dodavatelů a požadavky odběratelů. Vzhledem k tomu, že se jedná o nevyrovnaný dopravní problém s převisem poptávky nad nabídkou, je zde doplněn fiktivní dodavatel - DF.

Tabulka 11: Dopravní tabulka-formulace ekonomického modelu 2 (Zdroj: Vlastní práce)

	Kynšperk	Klatovy	Slaný	Opava	Hodkovice	Týniště	Kapacita dodavatelů v ks
Brno	12,169 x_{11}	10,936 x_{12}	8,275 x_{13}	5,387 x_{14}	9,703 x_{15}	4,413 x_{16}	40
České Budějovice	7,724 x_{21}	3,635 x_{22}	6,263 x_{23}	12,591 x_{24}	7,691 x_{25}	8,859 x_{26}	92
Modletice	6,004 x_{31}	4,770 x_{32}	2,109 x_{33}	11,553 x_{34}	3,569 x_{35}	4,738 x_{36}	60
Myslinka	3,148 x_{41}	1,688 x_{42}	4,251 x_{43}	15,707 x_{44}	6,912 x_{45}	8,081 x_{46}	72
Starý Jičín	16,291 x_{51}	15,058 x_{52}	12,397 x_{53}	1,655 x_{54}	9,444 x_{55}	6,231 x_{56}	56
Želkovice	9,314 x_{61}	8,373 x_{62}	5,355 x_{63}	8,373 x_{64}	2,369 x_{65}	1,201 x_{66}	36
DF	0 x_{71}	0 x_{72}	0 x_{73}	0 x_{74}	0 x_{75}	0 x_{76}	29
Požadavky odběratelů v ks	35	93	49	65	75	68	385/385

3.1.3 Model 3

Zaokrouhlené hodnoty vypočítaných přepravních sazeb jsou zobrazeny v tabulce. V tabulce jsou také uvedeny kapacity dodavatelů a požadavky odběratelů. Vzhledem k tomu, že se jedná o nevyrovnaný dopravní problém s převisem poptávky nad nabídkou, je zde doplněn fiktivní dodavatel - DF. Protože odběratelé ze Slaného a z Hodkovic nad Mohelkou požadují přesné splnění své zakázky, nesmí být obslouženi od fiktivního dodavatele. Pole (7, 3) a (7, 4) bude obsazeno tzv. prohibitivní sazbou M.

Tabulka 12: Dopravní tabulka-formulace ekonomického modelu 3 (Zdroj: Vlastní práce)

	Kynšperk	Klatovy	Slaný	Hodkovice	Týniště	Kapacita dodavatelů v ks
Brno	12,169 x_{11}	10,936 x_{12}	8,275 x_{13}	9,703 x_{14}	4,413 x_{15}	40
České Budějovice	7,724 x_{21}	3,635 x_{22}	6,263 x_{23}	7,691 x_{24}	8,859 x_{25}	92
Modletice	6,004 x_{31}	4,770 x_{32}	2,109 x_{33}	3,569 x_{34}	4,738 x_{35}	60
Myslinka	3,148 x_{41}	1,688 x_{42}	4,251 x_{43}	6,912 x_{44}	8,081 x_{45}	72
Starý Jičín	16,291 x_{51}	15,058 x_{52}	12,397 x_{53}	9,444 x_{54}	6,231 x_{55}	56
Želkovice	9,314 x_{61}	8,373 x_{62}	5,355 x_{63}	2,369 x_{64}	1,201 x_{65}	36
DF	0 x_{71}	0 x_{72}	M x_{73}	M x_{74}	0 x_{75}	20
Požadavky odběratelů v ks	46	96	74	75	85	376/376

3.2 Formulace matematického modelu

V následující části budu matematicky formulovat slovně zadané problémy.

3.2.1 Model 1

Matematický model uvedeného dopravního problému:

minimalizovat

$z = 13{,}371x_{11} + 12{,}016x_{12} + 9{,}093x_{13} + 5{,}919x_{14} + 10{,}662x_{15} + 4{,}849x_{16} + 0x_{17} + 8{,}486x_{21} + 3{,}994x_{22} + 6{,}882x_{23} + 13{,}835x_{24} + 8{,}451x_{25} + 9{,}734x_{26} + 0x_{27} + 6{,}597x_{31} + 5{,}242x_{32} + 2{,}318x_{33} + 12{,}694x_{34} + 3{,}922x_{35} + 5{,}206x_{36} + 0x_{37} + 3{,}459x_{41} + 1{,}854x_{42} + 4{,}671x_{43} + 17{,}258x_{44} + 7{,}595x_{45} + 8{,}579x_{46} + 0x_{47} + 17{,}899x_{51} + 16{,}545x_{52} + 13{,}621x_{53} + 1{,}819x_{54} + 10{,}376x_{55} + 6{,}846x_{56} + 0x_{57} + 10{,}234x_{61} + 9{,}199x_{62} + 5{,}883x_{63} + 9{,}199x_{64} + 2{,}603x_{65} + 1{,}319x_{66} + 0x_{67}$

za podmínek

$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} = 40$

$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} = 92$

$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} = 60$

$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} + x_{46} + x_{47} = 72$

$x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} + x_{56} + x_{57} = 56$

$x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} + x_{65} + x_{66} + x_{67} = 36$

$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} = 16$

$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} = 80$

$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} = 38$

$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} = 62$

$x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} + x_{65} = 72$

$x_{16} + x_{26} + x_{36} + x_{46} + x_{56} + x_{66} = 56$

$x_{17} + x_{27} + x_{37} + x_{47} + x_{57} + x_{67} = 32$

$x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$

3.2.2 Model 2

Matematický model uvedeného dopravního problému:

minimalizovat

$z = 12{,}169x_{11} + 10{,}936x_{12} + 8{,}275x_{13} + 5{,}387x_{14} + 9{,}703x_{15} + 4{,}413x_{16} + 7{,}724x_{21} + 3{,}635x_{22} + 6{,}263x_{23} + 12{,}591x_{24} + 7{,}691x_{25} + 8{,}859x_{26} + 6{,}004x_{31} + 4{,}770x_{32} + 2{,}109x_{33} + 11{,}553x_{34} + 3{,}569x_{35} + 4{,}738x_{36} + 3{,}148x_{41} + 1{,}688x_{42} + 4{,}251x_{43} + 15{,}707x_{44} + 6{,}912x_{45} + 8{,}081x_{46} + 16{,}291x_{51} + 15{,}058x_{52} + 12{,}397x_{53} + 1{,}655x_{54} + 9{,}444x_{55} + 6{,}231x_{56} + 9{,}314x_{61} + 8{,}373x_{62} + 5{,}355x_{63} + 8{,}373x_{64} + 2{,}369x_{65} + 1{,}201x_{66} + 0x_{71} + 0x_{72} + 0x_{73} + 0x_{74} + 0x_{75} + 0x_{76}$

za podmínek

$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} = 40$

$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} = 92$

$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} = 60$

$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} + x_{46} = 72$

$x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} + x_{56} = 56$

$x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} + x_{65} + x_{66} = 36$

$x_{71} + x_{72} + x_{73} + x_{74} + x_{75} + x_{76} = 29$

$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71} = 35$

$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} + x_{72} = 93$

$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} + x_{73} = 49$

$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} + x_{74} = 65$

$x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} + x_{65} + x_{75} = 75$

$x_{16} + x_{26} + x_{36} + x_{46} + x_{56} + x_{66} + x_{76} = 68$

$x_{ij} \geq 0$, i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6

3.2.3 Model 3

Matematický model uvedeného dopravního problému:

minimalizovat

$z = 12{,}169x_{11} + 10{,}936x_{12} + 8{,}275x_{13} + 9{,}703x_{14} + 4{,}413x_{15} + 7{,}724x_{21} + 3{,}635x_{22} + 6{,}263x_{23} + 7{,}691x_{24} + 8{,}859x_{25} + 6{,}004x_{31} + 4{,}770x_{32} + 2{,}109x_{33} + 3{,}569x_{34} + 4{,}738x_{35} + 3{,}148x_{41} + 1{,}688x_{42} + 4{,}251x_{43} + 6{,}912x_{44} + 8{,}081x_{45} + 16{,}291x_{51} + 15{,}058x_{52} + 12{,}397x_{53} + 9{,}444x_{54} + 6{,}231x_{55} + 9{,}314x_{61} + 8{,}373x_{62} + 5{,}355x_{63} + 2{,}369x_{64} + 1{,}201x_{65} + 0x_{71} + 0x_{72} + Mx_{73} + Mx_{74} + 0x_{75}$

za podmínek

$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} = 40$

$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} = 92$

$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} = 60$

$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} = 72$

$x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} = 56$

$x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} + x_{65} = 36$

$x_{71} + x_{72} + x_{73} + x_{74} + x_{75} = 20$

$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71} = 46$

$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} + x_{72} = 96$

$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} + x_{73} = 74$

$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} + x_{74} = 75$

$x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} + x_{65} + x_{75} = 85$

$x_{ij} \geq 0$, i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, j = 1, 2, 3, 4, 5

3.3 Výpočet matematického modelu

Dopravní problém je možné, stejně jako další úlohy řešené v rámci operačního výzkumu, řešit pomocí nástroje „Řešitel“, který je doplňkem tabulkového kalkulátoru MS Excel (v některých verzích je možné jej najít jako „Optimizer“ anebo „Solver“). Microsoft Excel byl vybrán zcela úmyslně. Operační systémy Microsoft Windows stále patří k těm nejpopulárnějším jak v České republice, tak ve světě a jejich kancelářské balíčky si ve firmách drží významné postavení.

Výpočet následujících modelů bude proveden i prostřednictvím formuláře vytvořeného pomocí jazyku VBA.

3.3.1 Model 1

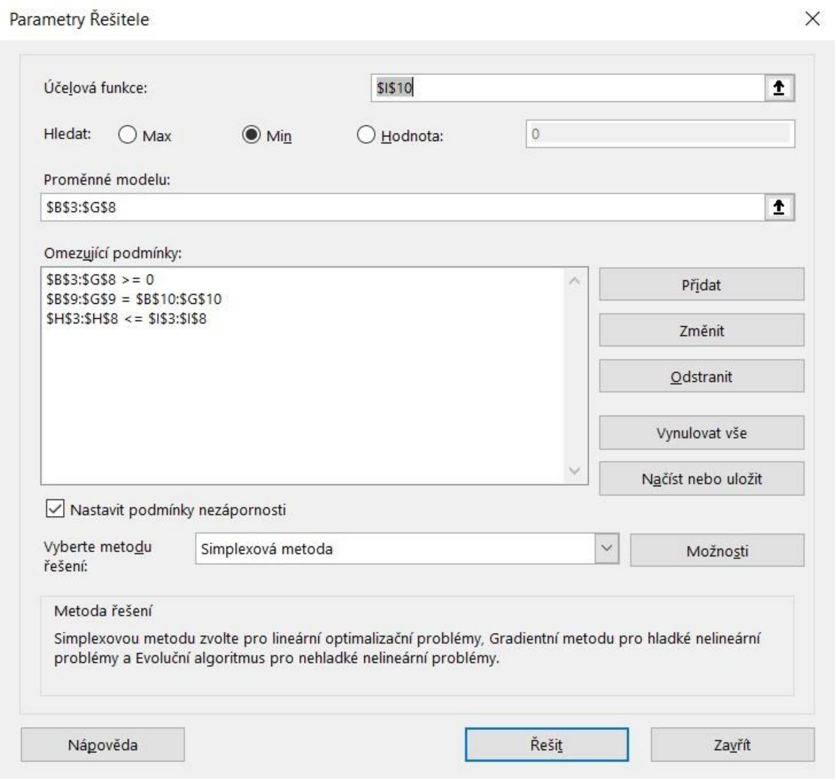
V prvním kroku musíme začít tím, že si vymezíme místo v tabulce, kam budeme zapisovat vstupní údaje, tedy vzorce a také proměnné, které jsou obsahem řešené úlohy. Uspořádání vstupních údajů je znázorněno na obrázku č. 3.

V tomto případě se jedná o nevyrovnaný dopravní problém, kde je nutné doplnit fiktivního odběratele a tak tento problém vyrovnat. V polích B3:G8 jsou umístěny proměnné, které potřebujeme vypočítat. Do těchto buněk není nutné na počátku zadávat hodnoty, případně je můžeme vyplnit pouze nulami. V polích B9:G9 jsou umístěny součty hodnot ze sloupců nad nimi. V polích H3:H8 jsou umístěny součty řádkové. V polích B10:G10 jsou poté zobrazeny požadavky odběratelů, v polích I3:I8 pak doplněny kapacity jednotlivých dodavatelů. V polích B13:G18 jsou poté uvedeny jednotkové přepravní náklady. Účelová funkce je umístěna v poli I10. Hodnotu účelové funkce vypočítáme jako součin modelových proměnných a jednotkových přepravních nákladů. Pro výpočet tohoto součinu můžeme použít funkci SOUČIN.SKALARNI. (Seďa, 2013)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Kynšperk	Klatovy	Slaný	Opava	Hodkovice	Týniště	SUMA	Kapacita dodavatelů
2									v ks
3	Brno							0	40
4	České Budějovice							0	92
5	Modletice							0	60
6	Myslinka							0	72
7	Starý Jičín							0	56
8	Želkovice							0	36
9	SUMA	0	0	0	0	0	0	0	356
10	Požadavky odběratelů	16	80	38	62	72	56	324	0
11									
12	CENY	Kynšperk	Klatovy	Slaný	Opava	Hodkovice	Týniště		
13	Brno	13,371	12,016	9,093	5,919	10,662	4,849		
14	České Budějovice	8,486	3,994	6,882	13,835	8,451	9,734		
15	Modletice	6,597	5,242	2,318	12,694	3,922	5,206		
16	Myslinka	3,459	1,854	4,671	17,258	7,595	8,879		
17	Starý Jičín	17,899	16,545	13,621	1,819	10,376	6,846		
18	Želkovice	10,234	9,199	5,883	9,199	2,603	1,319		

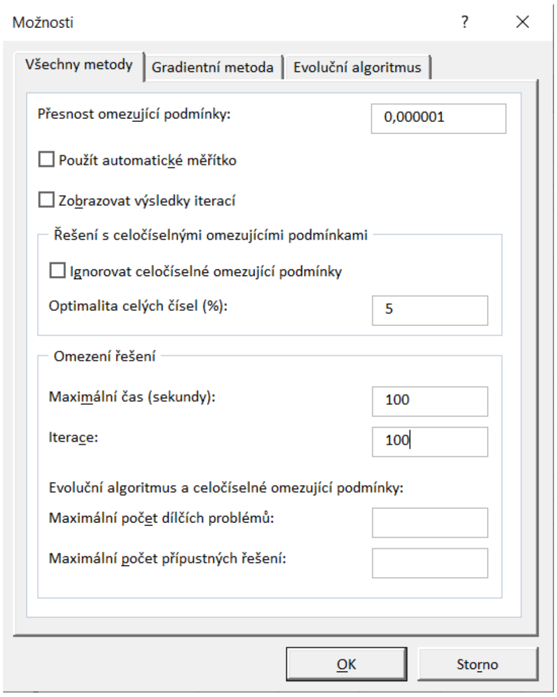
Obrázek 3: Vstupní data dopravního problému v prostředí MS Excel (Zdroj: Vlastní práce)

V dalším kroku použijme nástroj Řešitel. Na obrázku č. 4 vidíme parametry nástroje Řešitel pro náš dopravní problém. Jelikož cílem řešení dopravní úlohy je minimalizace celkových nákladů na dopravu, nastavíme v Řešiteli pole I10 na Min. Měněnými buňkami zvolíme proměnné, které se nacházejí v polích B3:G8. Omezující podmínky musí obsahovat zároveň podmínky nezápornosti pro všechny proměnné, ale také podmínky, které vyjadřují porovnaní jednotlivých kapacit dodavatelů a požadavků odběratelů. Protože se jedná o nevyrovnaný dopravní problém s převisem nabídky, nemůžou odběratelé odebrat všechno nabízené zboží. Tento převis je vyjádřen ve třetí omezující podmínce znakem nerovnosti. (Seďa, 2013)



Obrázek 4: Dialogové okno Parametry Řešitele u modlu 1 (Zdroj: Vlastní práce)

Pro správné zpracování úlohy může být důležité nastavení určitých parametrů, která se provádí pomocí menu Možnosti v dialogovém okně Parametry Řešitele. Po aktivaci tohoto okna se zobrazí dialogové okno Možnosti (viz obrázek č. 5). Nakonec zvolíme tlačítko Řešit. (Doskočil, 2011)



Obrázek 5: Dialogové okno Možnosti (Zdroj: Vlastní práce)

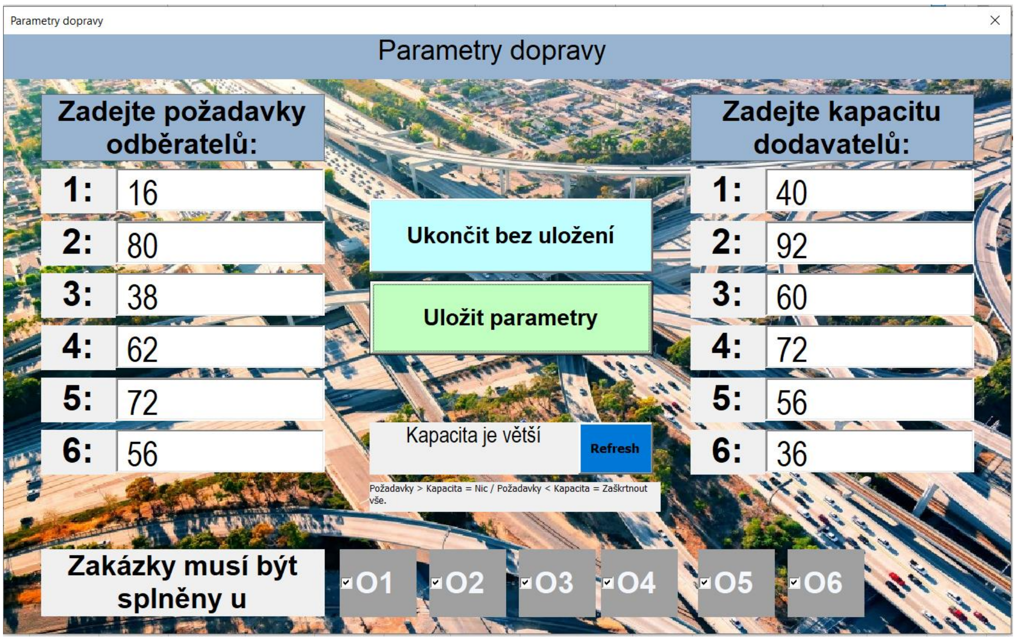
Výsledné řešení vidíme na obrázku č. 6. Z obrázku je patrné, že např. přeprava z pobočky Brno k odběrateli z Kynšperku se nebude realizovat, v odpovídající buňce B3 je nulová hodnota, z pobočky České Budějovice k odběrateli z Klatov se přepraví 60 ks zboží, v odpovídající buňce C4 je hodnota 60. Celkové distribuční náklady jsou zobrazeny v buňce I10. Celková minimalizovaná hodnota těchto nákladů je 110 003,6 Kč.

P17

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Kynšperk	Klatovy	Slaný	Opava	Hodkovice	Týniště	SUMA	Kapacita dodavatelů
2									v ks
3	Brno	0	0	0	6	0	34	**40**	40
4	České Budějovice	0	60	0	0	0	0	**60**	92
5	Modletice	0	0	2	0	58	0	**60**	60
6	Myslinka	16	20	36	0	0	0	**72**	72
7	Starý Jičín	0	0	0	56	0	0	**56**	56
8	Želkovice	0	0	0	0	14	22	**36**	36
9	SUMA	**16**	**80**	**38**	**62**	**72**	**56**	0	**356**
10	Požadavky odběratelů	16	80	38	62	72	56	**324**	1100,036

Obrázek 6: Výsledné řešení dopravní úlohy v prostředí MS Excel u modelu 1 (Zdroj: Vlastní práce)

Na následujícím obrázku vidíme vytvořený formulář pomocí jazyku VBA, kde zadáváme údaje o dopravě. Mezi tyto údaje patří počet požadavků odběratelů, kapacity dodavatelů a v případě,že máme převis poptávky nad nabídkou, zvolíme, kterému dodavateli musí být zakázka přesně dle požadavků doručena. Pokud máme větší kapacitu dodavatelů než požadavky odběratelů upozorní nás formulář, že je třeba zaškrtnout přesnou zakázku u všech odběratelů. Dále uložíme parametry a v základním prostředí MS Excel zvolíme: aktualizovat pomocí Řešitele.



Obrázek 7: Vytvořený formulář pomocí jazyku VBA (Zdroj: Vlastní práce)

Na následujícím obrázku je znázorněn výpočet prostřednictvím formuláře pomocí jazyku VBA. Řešení vidíme přímo v základním prostředí MS Excel. Sazby za převoz jedné jednotky zboží od dodavatele k odběrateli se přepočítávají dle počtu přepravených kusů. V polích B13:G13 se zobrazuje, zdali zakázky odběratelů musí být přesně splněny či nikoli. Pokud je v poli „NEPRAVDA“ zakázka být splněna nemusí, ale pokud je v poli „PRAVDA“ zakázka být splněna musí. Tento formulář ulehčuje a zrychluje práci s doplňkem Řešitel. Po uživateli je vyžadováno pouze zadání požadavků odběratelů, zadání kapacit dodavatelů a v případě převisu poptávky nad nabídkou a v případě převyšujícího množství kapacity zadáme, kterému odběrateli musí být zakázka doručena. Základní prostředí MS Excel můžeme vidět na následujícím obrázku.

	Kynšperk	Klatovy	Slaný	Opava	Hodkovice	Týniště	OF	SUMA	Kapacita dodavatelů v ks
Brno	0	0	0	6	0	34	0	**40**	40
České Budějovice	0	60	0	0	0	0	0	**60**	92
Modletice	0	0	2	0	58	0	0	**60**	60
Myslinka	16	20	36	0	0	0	0	**72**	72
Starý Jičín	0	0	0	56	0	0	0	**56**	56
Želkovice	0	0	0	0	14	22	0	**36**	36
x	x	x	x	x	x	x	32	**x**	x
DF	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
SUMA	**16**	**80**	**38**	**62**	**72**	**56**	**32**	**0**	**356**
Požadavky odběratelů	16	80	38	62	72	56	32	**356**	1100,025418
Zakázka musí být splněna:	PRAVDA	PRAVDA	PRAVDA	PRAVDA	PRAVDA	PRAVDA		NEPRAVDA	

Provedla se aktualizace?

ANO

Spuštění formuláře

Přepravuje se kusů:

324

Aktualizovat pomocí Řešitele

CENY	Kynšperk	Klatovy	Slaný	Opava	Hodkovice	Týniště
Brno	13,37146	12,016485	9,0925926	5,91909949	10,661511	4,8493827
České Budějovice	8,4864198	3,9936093	6,8818446	13,8350036	8,4507625	9,7344227
Modletice	6,5965868	5,2416122	2,3177197	12,6939724	3,9222948	5,205955
Myslinka	3,4587509	1,8541757	4,6710966	17,2580973	7,5949891	8,8786492
Starý Jičín	17,899927	16,544953	13,62106	1,81851852	10,376253	6,8461874
Želkovice	10,233624	9,1995643	5,8834423	9,19956427	2,6029775	1,3193174

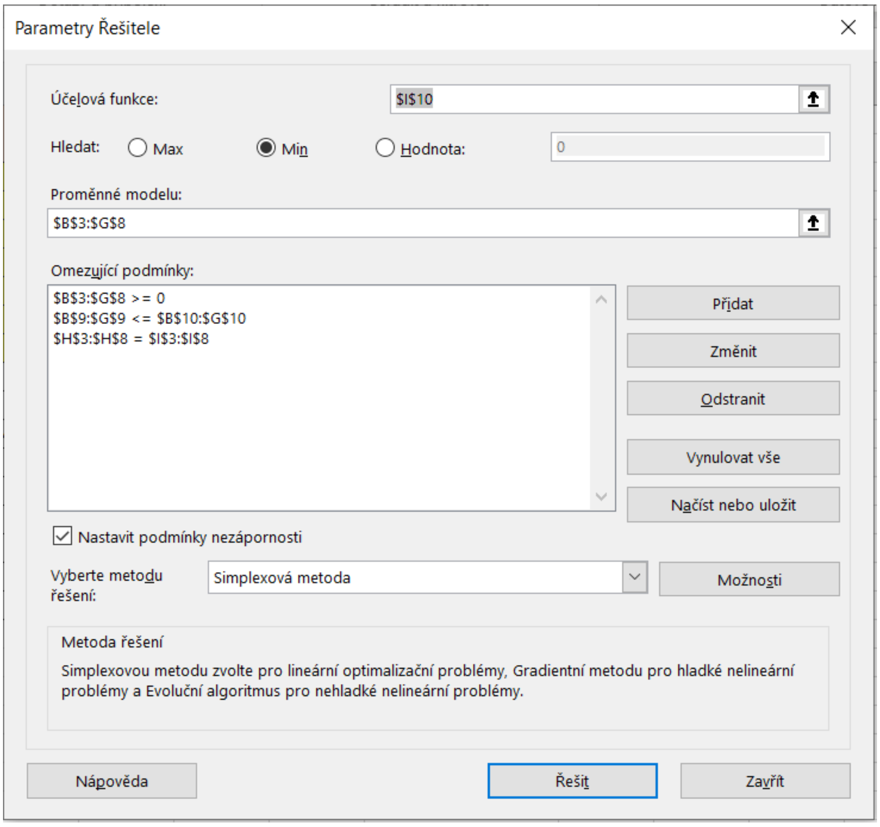
Fiktivní doplnění	
OF	32
DF	0

Obrázek 8: Řešení modelu 1 pomocí formuláře (Zdroj: Vlastní práce)

3.3.2 Model 2

V tomto případě se jedná také o nevyrovnaný dopravní problém, který je tentokrát nutné řešit pomocí fiktivního dodavatele. Proměnné, součty sloupcové, součty řádkové, požadavky odběratelů, kapacity dodavatelů, jednotkové přepravní náklady a účelová funkce jsou uvedeny ve stejných buňkách jako u modelu 1.

V dalším kroku použijme nástroj Řešitel. Na obrázku č. 9 vidíme parametry nástroje Řešitel pro náš dopravní problém. Jelikož cílem řešení dopravní úlohy je minimalizace celkových nákladů na dopravu, nastavíme v Řešiteli pole I10 na Min. Měněnými buňkami zvolíme proměnné, které se nacházejí v polích B3:G8. Omezující podmínky musí obsahovat zároveň podmínky nezápornosti pro všechny proměnné, ale také podmínky, které vyjadřují porovnaní jednotlivých kapacit dodavatelů a požadavků odběratelů. Protože se jedná o nevyrovnaný dopravní problém s převisem poptávky, nemohou dodavatelé dodat veškeré poptávané množství. Tento převis je vyjádřen znakem nerovnosti ve druhé omezující podmínce. (Seďa, 2013)



Obrázek 9: Dialogové okno Parametry Řešitele u modelu 2 (Zdroj: Vlastní práce)

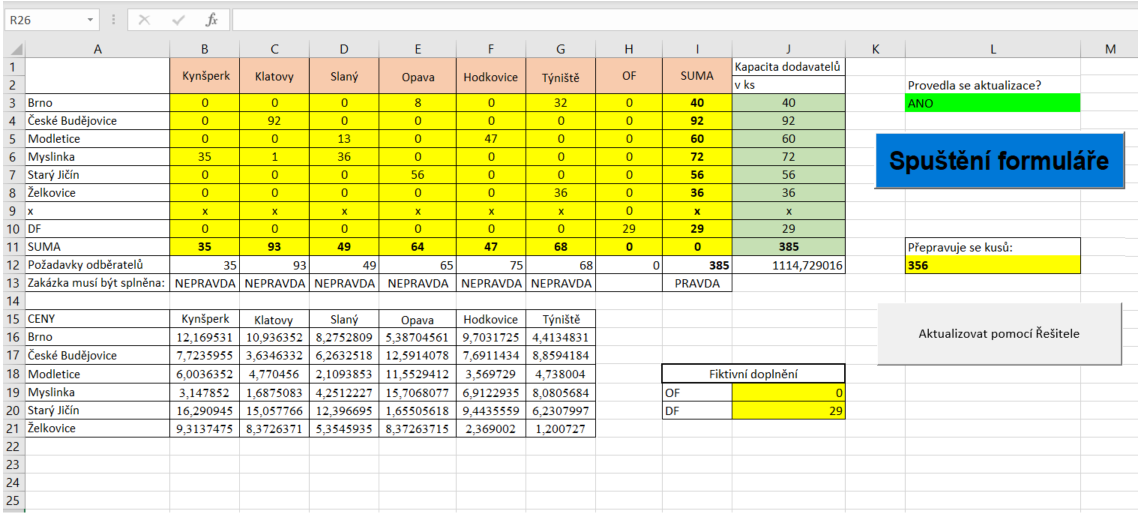
.

Výsledné řešení vidíme na obrázku č. 10. Z obrázku je patrné, že např. přeprava z pobočky Brno k odběrateli z Kynšperku se nebude realizovat, v odpovídající buňce B3 je nulová hodnota, z pobočky České Budějovice k odběrateli z Klatov se přepraví 92 ks komodity, v odpovídající buňce C4 je hodnota 92. Celkové distribuční náklady jsou zobrazeny v buňce I10. Celková minimalizovaná hodnota těchto nákladů činí 111 471,2 Kč

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1–2		Kynšperk	Klatovy	Slaný	Opava	Hodkovice	Týniště	SUMA	Kapacita dodavatelů v ks
3	Brno	0	0	0	8	0	32	**40**	40
4	České Budějovice	0	92	0	0	0	0	**92**	92
5	Modletice	0	0	13	0	47	0	**60**	60
6	Myslinka	35	1	36	0	0	0	**72**	72
7	Starý Jičín	0	0	0	56	0	0	**56**	56
8	Želkovice	0	0	0	0	0	36	**36**	36
9	SUMA	**35**	**93**	**49**	**64**	**47**	**68**	0	**356**
10	Požadavky odběratelů	35	93	49	65	75	68	**385**	1114,712

Obrázek 10: Výsledné řešení dopravní úlohy v prostředí MS Excel u modelu 2 (Zdroj: Vlastní práce)

Na následujícím obrázku je znázorněn výpočet prostřednictvím formuláře pomocí jazyku VBA.



	Kynšperk	Klatovy	Slaný	Opava	Hodkovice	Týniště	OF	SUMA	Kapacita dodavatelů v ks
Brno	0	0	0	8	0	32	0	40	40
České Budějovice	0	92	0	0	0	0	0	92	92
Modletice	0	0	13	0	47	0	0	60	60
Myslinka	35	1	36	0	0	0	0	72	72
Starý Jičín	0	0	0	56	0	0	0	56	56
Želkovice	0	0	0	0	0	36	0	36	36
x	x	x	x	x	x	x	0	x	x
DF	0	0	0	0	0	0	29	29	29
SUMA	35	93	49	64	47	68	0	0	385
Požadavky odběratelů	35	93	49	65	75	68	0	385	1114,729016
Zakázka musí být splněna:	NEPRAVDA	NEPRAVDA	NEPRAVDA	NEPRAVDA	NEPRAVDA	NEPRAVDA		PRAVDA	

CENY	Kynšperk	Klatovy	Slaný	Opava	Hodkovice	Týniště
Brno	12,169531	10,936352	8,2752809	5,38704561	9,7031725	4,4134831
České Budějovice	7,7235955	3,6346332	6,2632518	12,5914078	7,6911434	8,8594184
Modletice	6,0036352	4,770456	2,1093853	11,5529412	3,569729	4,738004
Myslinka	3,147852	1,6875083	4,2512227	15,7068077	6,9122935	8,0805684
Starý Jičín	16,290945	15,057766	12,396695	1,65505618	9,4435559	6,2307997
Želkovice	9,3137475	8,3726371	5,3545935	8,37263715	2,369002	1,200727

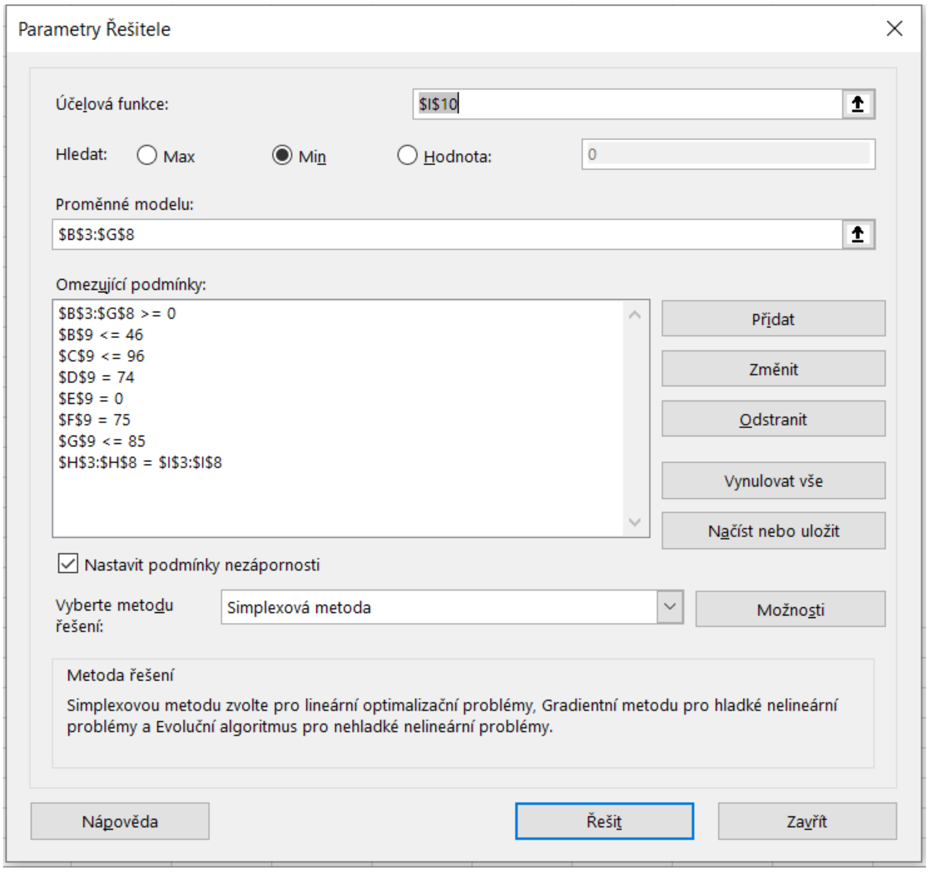
Fiktivní doplnění	
OF	0
DF	29

Obrázek 11: Řešení modelu 2 pomocí formuláře (Zdroj: Vlastní práce)

3.3.3 Model 3

V tomto případě se jedná také o nevyrovnaný dopravní problém, který je nutné řešit pomocí fiktivního dodavatele. Proměnné, součty sloupcové, součty řádkové, požadavky odběratelů, kapacity dodavatelů, jednotkové přepravní náklady a účelová funkce jsou uvedeny ve stejných buňkách jako u modelu 1 a modelu 2.

V dalším kroku použijme nástroj Řešitel. Na obrázku č. 12 vidíme parametry nástroje Řešitel pro náš dopravní problém. Jelikož cílem řešení dopravní úlohy je minimalizace celkových nákladů na dopravu, nastavíme v Řešiteli pole I10 na Min. Jako měněnými buňkami zvolíme proměnné, které se nacházejí v polích B3:G8. Omezující podmínky musí obsahovat zároveň podmínky nezápornosti pro všechny proměnné, ale také podmínky, které vyjadřují porovnaní jednotlivých kapacit dodavatelů a požadavků odběratelů. Protože se jedná o nevyrovnaný dopravní problém s převisem poptávky, nemohou dodavatelé dodat veškeré poptávané množství. Tento převis a přesné splnění zakázky pro odběratele ze Slaného a odběratele z Hodkovic je vyjádřen omezujícími podmínkami 2 až 7. (Seďa, 2013)



Obrázek 12: Dialogové okno Parametry Řešitele u modelu 3 (Zdroj: Vlastní práce)

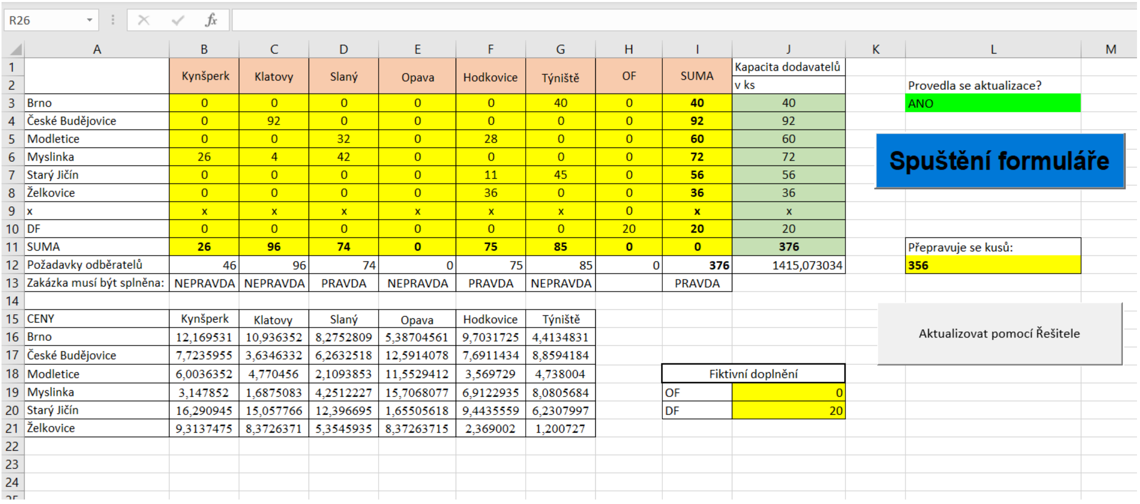
Výsledné řešení vidíme na obrázku č. 13. Z obrázku je patrné, že např. přeprava z pobočky Brno k odběrateli z Kynšperku se nebude realizovat, v odpovídající buňce B3 je nulová hodnota, z pobočky České Budějovice k odběrateli z Klatov se přepraví 92 ks komodity, v odpovídající buňce C4 je hodnota 92. Celkové distribuční náklady jsou zobrazeny v buňce I10. Celková minimalizovaná hodnota těchto nákladů činí 141 506,5 Kč.

L14

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1–2		Kynšperk	Klatovy	Slaný	Opava	Hodkovice	Týniště	SUMA	Kapacita dodavatelů v ks
3	Brno	0	0	0	0	0	40	**40**	40
4	České Budějovice	0	92	0	0	0	0	**92**	92
5	Modletice	0	0	32	0	28	0	**60**	60
6	Myslinka	26	4	42	0	0	0	**72**	72
7	Starý Jičín	0	0	0	0	11	45	**56**	56
8	Želkovice	0	0	0	0	36	0	**36**	36
9	SUMA	**26**	**96**	**74**	**0**	**75**	**85**	0	**356**
10	Požadavky odběratelů	46	96	74	0	75	85	**376**	1415,065

Obrázek 13: Výsledné řešení dopravní úlohy v prostředí MS Excel u modelu 3 (Zdroj: Vlastní práce)

Na následujícím obrázku je znázorněn výpočet prostřednictvím formuláře pomocí jazyku VBA.



	Kynšperk	Klatovy	Slaný	Opava	Hodkovice	Týniště	OF	SUMA	Kapacita dodavatelů v ks
Brno	0	0	0	0	0	40	0	**40**	40
České Budějovice	0	92	0	0	0	0	0	**92**	92
Modletice	0	0	32	0	28	0	0	**60**	60
Myslinka	26	4	42	0	0	0	0	**72**	72
Starý Jičín	0	0	0	0	11	45	0	**56**	56
Želkovice	0	0	0	0	36	0	0	**36**	36
x	x	x	x	x	x	x	0	**x**	x
DF	0	0	0	0	0	0	20	**20**	20
SUMA	**26**	**96**	**74**	**0**	**75**	**85**	**0**	**0**	**376**
Požadavky odběratelů	46	96	74	0	75	85	0	**376**	1415,073034
Zakázka musí být splněna:	NEPRAVDA	NEPRAVDA	PRAVDA	NEPRAVDA	PRAVDA	NEPRAVDA		PRAVDA	

CENY	Kynšperk	Klatovy	Slaný	Opava	Hodkovice	Týniště
Brno	12,169531	10,936352	8,2752809	5,38704561	9,7031725	4,4134831
České Budějovice	7,7235955	3,6346332	6,2632518	12,5914078	7,6911434	8,8594184
Modletice	6,0036352	4,770456	2,1093853	11,5529412	3,569729	4,738004
Myslinka	3,147852	1,6875083	4,2512227	15,7068077	6,9122935	8,0805684
Starý Jičín	16,290945	15,057766	12,396695	1,65505618	9,4435559	6,2307997
Želkovice	9,3137475	8,3726371	5,3545935	8,37263715	2,369002	1,200727

Fiktivní doplnění	
OF	0
DF	20

Provedla se aktualizace?
ANO
Spuštění formuláře
Přepravuje se kusů:
356
Aktualizovat pomocí Řešitele

Obrázek 14: Řešení modelu 3 pomocí formuláře (Zdroj: Vlastní práce)

3.4 Interpretace výsledků

3.4.1 Model 1

Distribuční náklady byly spočteny na 110 003,6 Kč pokud pobočka Brno bude dodávat 6 ks zboží odběrateli z Opavy a 34 ks zboží odběrateli z Týniště. Dále pokud z pobočky České Budějovice bude přepravováno 60 ks zboží odběrateli z Klatov a 32 ks fiktivní odběratel. Dále jestliže z pobočky Modletice budou přepraveny 2 ks zboží k odběrateli ze Slaného a 58 ks zboží odběrateli z Hodkovic. Dále pokud z pobočky Myslinka bude přepravováno 16 ks zboží k odběrateli z Kynšperku, 20 ks zboží odběrateli z Klatov a 36 ks zboží k odběrateli ze Slaného. Dále pokud z pobočky Starý Jičín bude přepravováno 56 ks zboží k odběrateli z Opavy. Dále pokud z pobočky Želkovice bude přepravováno 14 ks zboží k odběrateli z Hodkovic a 22 ks zboží odběrateli z Týniště.

3.4.2 Model 2

Distribuční náklady byly spočteny na 111 471,2 Kč pokud pobočka Brno bude dodávat 8 ks zboží odběrateli z Opavy a 32 ks zboží odběrateli z Týniště. Dále pokud z pobočky České Budějovice bude přepravováno 92 ks zboží odběrateli z Klatov. Dále jestliže z pobočky Modletice bude přepravováno 13 ks zboží k odběrateli ze Slaného a 47 ks zboží odběrateli z Hodkovic. Dále pokud z pobočky Myslinka bude přepravováno 35 ks zboží k odběrateli z Kynšperku, 1 ks zboží k odběrateli z Klatov a 36 ks zboží k odběrateli ze Slaného. Dále pokud z pobočky Starý Jičín bude přepravováno 56 ks zboží odběrateli z Opavy. Dále pokud z pobočky Želkovice bude přepravováno 36 ks zboží k odběrateli z Týniště. Odběrateli z Opavy nebude dopraveno 65 ks zboží, ale pouze 64 ks zboží a odběrateli z Hodkovic nebude dopraveno 75 ks zboží, ale pouze 47.

3.4.3 Model 3

Distribuční náklady byly spočteny na 141 506,5 Kč pokud pobočka Brno bude dodávat 40 ks zboží odběrateli z Týniště. Dále pokud z pobočky České Budějovice bude přepravováno 92 ks zboží odběrateli z Klatov. Dále jestliže z pobočky Modletice bude přepravováno 32 ks zboží k odběrateli ze Slaného a 28 ks zboží odběrateli z Hodkovic. Dále pokud z pobočky Myslinka bude přepravováno 26 ks zboží k odběrateli z Kynšperku, 4 ks zboží k odběrateli z Klatov a 42 ks zboží k odběrateli ze Slaného. Dále pokud z pobočky Starý Jičín bude přepravováno 11 ks zboží odběrateli z Hodkovic a 45 ks zboží k odběrateli z Týniště. Dále pokud z pobočky Želkovice bude přepravováno 36 ks zboží k odběrateli z Hodkovic. Odběrateli z Kynšperku nebude dopraveno 46 ks zboží, ale pouze 26 ks zboží.

3.5 Komentář a vzájemné srovnání modelů

V této práci byly provedeny výpočty tří odlišných dopravních problémů. A to dopravní problém s převisem nabídky nad poptávkou, kde byl doplněn fiktivní odběratel, dopravní problém s převisem poptávky nad nabídkou, kde byl doplněn fiktivní dodavatel a dopravní problém opět s převisem poptávky nad nabídkou s rozdílem, že zakázky musely být přesně splněny u dvou odběratelů. Doprava byla vybranou firmou plánovaná ve zvoleném čtvrtletí u modelů 1, 2 a 3 následujícím způsobem.

Tabulka 13: Plánovaná doprava– model 1 (Zdroj: Vlastní práce)

	Kynšperk	Klatovy	Slaný	Opava	Hodkovice	Týniště	OF	Kapacita dodavatelů v ks
Brno	13,371	12,016	9,093	5,919 **6**	10,662	4,849 **34**	0	40
České Budějovice	8,486	3,994 **32**	6,882	13,835	8,451 **12**	9,734 **16**	0 **32**	92
Modletice	6,597	5,242	2,318 **30**	12,694	3,922 **30**	5,206	0	60
Myslinka	3,459 **16**	1,854 **48**	4,671 **8**	17,258	7,595	8,879	0	72
Starý Jičín	17,899	16,545	13,621	1,819	10,376	6,846 **56**	0	56
Želkovice	10,234	9,199	5,883	9,199	2,603 **30**	1,319 **6**	0	36
Požadavky odběratelů v ks	16	80	38	62	72	56	32	356/356

x=

(0,0,0,6,0,34,0,0,32,0,0,12,16,32,0,0,30,0,30,0,0,16,48,8,0,0,0,0,0,0,0,0,0,56,0,0,0,0,0,30,6,0)

z=

(6*5,919+34*4,849+32*3,994+12*8,451+16*9,734+32*0+30*2,318+30*3,922+16*3,459+48*1,854+8*4,671+56*6,846+30*2,603+6*1,319) = 1142,116 (ve stovkách Kč)

Distribuční náklady na dopravu, které jsou plánovány vybranou firmou vychází na 114 211,6 Kč. Což je o 4 208 Kč čtvrtletně více než optimalizovanou metodou.

Tabulka 14: Plánovaná doprava-model 2 (Zdroj: Vlastní práce)

	Kynšperk	Klatovy	Slaný	Opava	Hodkovice	Týniště	Kapacita dodavatelů v ks
Brno	12,169	10,936	8,275	5,387 **8**	9,703	4,413 **32**	40
České Budějovice	7,724	3,635 **92**	6,263	12,591	7,691	8,859	92
Modletice	6,004	4,770	2,109	11,553	3,569 **60**	4,738	60
Myslinka	3,148 **35**	1,688	4,251 **37**	15,707	6,912	8,081	72
Starý Jičín	16,291	15,058	12,397	1,655 **56**	9,444	6,231	56
Želkovice	9,314	8,373	5,355	8,373	2,369	1,201 **36**	36
DF	0	0 **1**	0 **12**	0 **1**	0 **15**	0	29
Požadavky odběratelů v ks	35	93	49	65	75	68	385/385

x=

(0,0,0,8,0,32,0,92,0,0,0,0,0,0,0,0,60,0,35,0,37,0,0,0,0,0,0,56,0,0,0,0,0,0,0,36,0,1,12,1,15,0)

z=

(8*5,387+32*4,413+92*3,635+60*3,569+35*3,148+37*4,251+56*1,655+36*1,201+1*0+12*0+1*0+15*0) = 1136,255 (ve stovkách Kč)

Distribuční náklady na dopravu, které jsou plánovány vybranou firmou vychází na 113 625,5 Kč. Což je o 2 154,3 Kč čtvrtletně více než optimalizovanou metodou.

Tabulka 15: Plánovaná doprava-model 3 (Zdroj: Vlastní práce)

	Kynšperk	Klatovy	Slaný	Hodkovice	Týniště	Kapacita dodavatelů v ks
Brno	12,169	10,936	8,275	9,703 **11**	4,413 **29**	40
České Budějovice	7,724	3,635 **92**	6,263	7,691	8,859	92
Modletice	6,004	4,770	2,109 **32**	3,569 **28**	4,738	60
Myslinka	3,148 **30**	1,688	4,251 **42**	6,912	8,081	72
Starý Jičín	16,291	15,058	12,397	9,444	6,231 **56**	56
Želkovice	9,314	8,373	5,355	2,369 **36**	1,201	36
DF	0 **16**	0 **4**	M	M	0	20
Požadavky odběratelů v ks	46	96	74	75	85	376/376

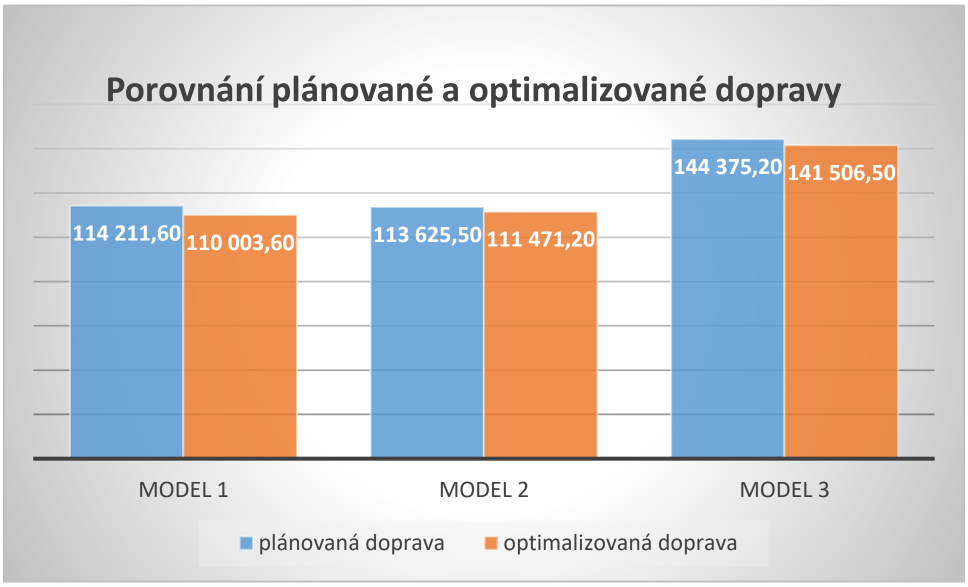
x= (0,0,0,11,29,0,92,0,0,0,0,0,32,28,0,30,0,42,0,0,0,0,0,0,56,0,0,0,36,0,16,4,0,0,0)

z=

(11*9,703+29*4,413+92*3,635+32*2,109+28*3,569+30*3,148+42*4,251+56*6,231+36*2,369+16*0+4*0) = 1443,752 (ve stovkách Kč)

Distribuční náklady na dopravu, které jsou plánovány vybranou firmou vychází na 144 375,2 Kč. Což je o 2 868,2 Kč čtvrtletně více než optimalizovanou metodou.

Na následujícím grafu vidíme porovnání nákladů plánované a optimalizované dopravy u všech tří modelů. Pokud bude realizována optimalizovaná doprava, tak nejvíce uspoříme u modelu 1, kde je rozdíl 4 208 Kč. U modelu 3 uspoříme 2 868,2 Kč a u modelu 2 uspoříme 2 154,3 Kč.

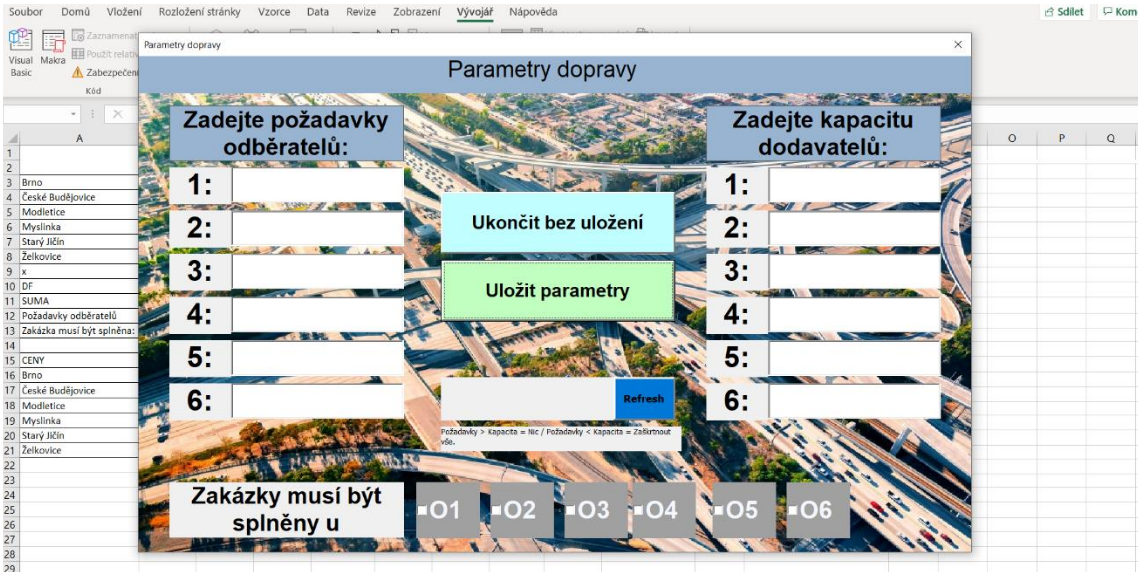


Obrázek 15: Porovnání distribučních nákladů plánované a optimalizované dopravy (Zdroj: Vlastní práce)

3.6 Přínosy návrhů řešení práce

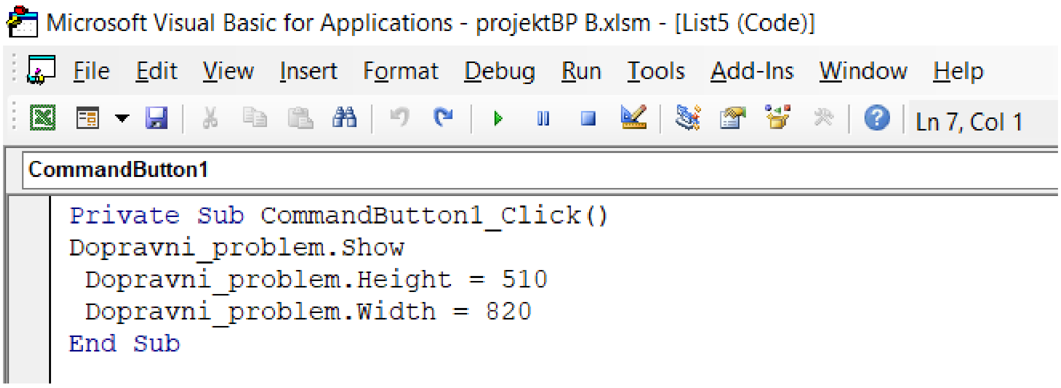
Výsledkem této práce jsou tři odlišné modely dopravního problému. Vzhledem k tomu, že vybraná firma řešila dopravu doposud pomocí úsudku a nevyužívala lineární programování, tak ji mohu předat návrh a materiály, které mohou snížit náklady na budoucí dopravu.

Pro řešení dopravního problému jsem využila doplněk Řešitel, který je součástí MS Excel a je dostupný široké veřejnosti. Pro práci s doplňkem jsem naprogramovala formulář s využitím jazyku VBA, který jsem také využila pro řešení dopravního problému v této práci. Uživatel zvolí spustit formulář a do formuláře vyplní údaje jako jsou: počet požadavků jednotlivých odběratelů, počet kapacit jednotlivých dodavatelů a v případě převisu poptávky nad nabídkou nebo v případě vyšší kapacity vybere, které zakázky musí být doručeny. Po zadání těchto údajů uložíme parametry a zvolíme aktualizaci pomocí Řešitele. Těmito kroky získáme řešení pro optimalizovanou dopravu. Tento formulář slouží jako efektivní nástroj při řešení těchto typů úloh, ulehčuje a zrychluje práci s doplňkem Řešitel. Práce s těmito optimalizačními úlohy pomocí vytvořeného formuláře je již velmi snadná. Formulář vidíme na následujícím obrázku.



Obrázek 16: Vytvořený formulář pomocí jazyku VBA (Zdroj: Vlastní práce)

Na následujícím obrázku vidíme zdrojový kód pro spouštění formuláře.



Obrázek 17: Zdrojový kód pro spouštění formuláře (Zdroj: Vlastní práce)

Další obrázek představuje zdrojový kód, který vkládá data do tabulky v MS Excel.


```vba
Private Sub CommandButton1_Click()

Range("B3:G8").Value = 0
Range("H3:H8").Value = 0
Range("B10:G10").Value = 0

Cells(12, "B").Value = Dopravni_problem.TextBox01.Value
Cells(12, "C").Value = Dopravni_problem.TextBox02.Value
Cells(12, "D").Value = Dopravni_problem.TextBox03.Value
Cells(12, "E").Value = Dopravni_problem.TextBox04.Value
Cells(12, "F").Value = Dopravni_problem.TextBox05.Value
Cells(12, "G").Value = Dopravni_problem.TextBox06.Value


Cells(3, "J").Value = Dopravni_problem.TextBoxD1.Value
Cells(4, "J").Value = Dopravni_problem.TextBoxD2.Value
Cells(5, "J").Value = Dopravni_problem.TextBoxD3.Value
Cells(6, "J").Value = Dopravni_problem.TextBoxD4.Value
Cells(7, "J").Value = Dopravni_problem.TextBoxD5.Value
Cells(8, "J").Value = Dopravni_problem.TextBoxD6.Value

Cells(13, "B").Value = Dopravni_problem.CheckBox01
Cells(13, "C").Value = Dopravni_problem.CheckBox02
Cells(13, "D").Value = Dopravni_problem.CheckBox03
Cells(13, "E").Value = Dopravni_problem.CheckBox04
Cells(13, "F").Value = Dopravni_problem.CheckBox05
Cells(13, "G").Value = Dopravni_problem.CheckBox06


If Application.Sum(Range(Cells(12, 2), Cells(12, 7))) > Application.Sum(Range(Cells(2, 10), Cells(8, 10))) Then
Cells(13, "I").Value = True
ElseIf Application.Sum(Range(Cells(12, 2), Cells(12, 7))) = Application.Sum(Range(Cells(2, 10), Cells(8, 10))) Then
Cells(13, "I").Value = True
Else
Cells(13, "I").Value = False
End If



Cells(3, "L").Value = "NE"
Range("L3").Interior.Color = RGB(255, 0, 0)


MsgBox "Uložení parametrů proběhlo úspěšně"


End Sub

Private Sub CommandButton4_Click()


Dopravni_problem.Hide

End Sub

Private Sub CommandButton6_Click()
Dim rozhodnuti As String
Dim a As Integer
Dim b As Integer

a = CInt(TextBox01.Text) + CInt(TextBox02.Text) + CInt(TextBox03.Text) + CInt(TextBox04.Text) + _
 CInt(TextBox05.Text) + CInt(TextBox06.Text)
b = CInt(TextBoxD1.Text) + CInt(TextBoxD2.Text) + CInt(TextBoxD3.Text) + CInt(TextBoxD4.Text) + _
 CInt(TextBoxD5.Text) + CInt(TextBoxD6.Text)

 If a > b Then
 rozhodnuti = "Požadavky jsou větší"
 ElseIf a < b Then
 rozhodnuti = "Kapacita je větší"
 Else
    rozhodnuti = "Jsou stejné"
 End If

Label60.Caption = rozhodnuti
End Sub
```

Obrázek 18: Zdrojový kód pro vkládání dat do tabulky (Zdroj: Vlastní práce)

Pomocí zdrojového kódu, který je uveden na následujícím obrázku získáváme výpočty doplňku Řešitele.

```
Sub Řešitel()

    SolverReset
    SolverOk SetCell:="$J$12", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="$B$3:$G$8", _
        Engine:=2, EngineDesc:="Simplex LP"
    SolverAdd CellRef:="$B$3:$G$8", Relation:=3, FormulaText:="0"
    SolverOk SetCell:="$J$12", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="$B$3:$G$8", _
        Engine:=2, EngineDesc:="Simplex LP"

     If Range("B13").Value = True Then
    SolverAdd CellRef:="$B$11", Relation:=2, FormulaText:="$B$12"
    Else
    SolverAdd CellRef:="$B$11", Relation:=1, FormulaText:="$B$12"
 End If
     If Range("C13").Value = True Then
    SolverAdd CellRef:="$C$11", Relation:=2, FormulaText:="$C$12"
    Else
    SolverAdd CellRef:="$C$11", Relation:=1, FormulaText:="$C$12"
 End If
  If Range("D13").Value = True Then
    SolverAdd CellRef:="$D$11", Relation:=2, FormulaText:="$D$12"
    Else
    SolverAdd CellRef:="$D$11", Relation:=1, FormulaText:="$D$12"
 End If
  If Range("E13").Value = True Then
    SolverAdd CellRef:="$E$11", Relation:=2, FormulaText:="$E$12"
    Else
    SolverAdd CellRef:="$E$11", Relation:=1, FormulaText:="$E$12"
 End If
  If Range("F13").Value = True Then
    SolverAdd CellRef:="$F$11", Relation:=2, FormulaText:="$F$12"
    Else
    SolverAdd CellRef:="$F$11", Relation:=1, FormulaText:="$F$12"
 End If
  If Range("G13").Value = True Then
    SolverAdd CellRef:="$G$11", Relation:=2, FormulaText:="$G$12"
    Else
    SolverAdd CellRef:="$G$11", Relation:=1, FormulaText:="$G$12"
 End If
 If Range("I13").Value = True Then
     SolverAdd CellRef:="$I$3:$I$8", Relation:=2, FormulaText:="$J$3:$J$8"
    Else
     SolverAdd CellRef:="$I$3:$I$8", Relation:=1, FormulaText:="$J$3:$J$8"
 End If
    SolverOk SetCell:="$J$12", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="$B$3:$G$8", _
        Engine:=2, EngineDesc:="Simplex LP"
    SolverOk SetCell:="$J$12", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="$B$3:$G$8", _
        Engine:=2, EngineDesc:="Simplex LP"
    SolverSolve


    Cells(3, "L").Value = "ANO"
Range("L3").Interior.Color = RGB(0, 255, 0)

End Sub
```

Obrázek 19: Zdrojový kód pro získávání výpočtu Řešitele (Zdroj: Vlastní práce)

ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout model optimalizace dopravního problému s využitím nástrojů lineárního programování. Získala jsem výsledky u tří odlišných modelů dopravního problému. Všechny tyto modely byly nevyrovnané, protože v praxi se jen velmi zřídka vyskytuje situace, že by bylo stejné množství požadavků od odběratelů a stejná kapacita skladů dodavatelů. U modelů musel být tedy v prvním případě doplněn fiktivní dodavatel a ve druhém a třetím případě byl doplněn fiktivní odběratel s rozdílem, že ve třetím modelu bylo stanoveno, které zakázky musí být přesně dodrženy. Jednotlivé modely nám představují, jak nejefektivněji realizovat dopravu. U každého ze tří modelů bylo získáno výhodnější dopravní schéma než by tomu bylo doposud.

Pro řešení problémů v této práci bylo využito lineárního programování. Dopravní problém jako součást lineárního programování je jednou z nejčastěji používaných metod operačního výzkumu. Využije se v případě, kdy je potřeba určit schéma rozvozu tak, aby byly dopravní náklady minimální. K práci jsem vybrala tabulkový procesor Microsoft Excel kvůli známosti operačních systémů Windows a přízni jejich kancelářských balíčků ve firmách. Pro řešení problému jsem využila doplněk Řešitel, který je součástí MS Excel. Pro tento doplněk Řešitel jsem vytvořila formulář pomocí jazyku VBA, který umožňuje zadání dat do základního prostředí. Práce s těmito optimalizačními úlohy pomocí vytvořeného formuláře je velmi snadná pro jakéhokoli uživatele. Po uživateli je vyžadováno jen správné zadání všech požadavků odběratelů, kapacit dodavatelů a v případě převisu nabídky nad poptávkou zadání, které zakázky musí být přesně doručeny.

Na úplný závěr mohu napsat, že z této práce vyplývá, že lineární programování má reálné využití pro optimalizační úlohy v praxi. Touto prací jsem získala nové zkušenosti a vědomosti o dané problematice.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] Cíle logistiky. *Studentske.cz* [online]. 2011 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: logistika-cz.studentske.cz

[2] DANTZIG, George, 2002. LINEAR PROGRAMMING. Operations Research [online]. 50(1), 42-47 [cit. 2020-03-30]. ISSN 0030364X.

[3] DEMEL, Jiří, 2011. Operační výzkum. Praha. Studijní text. České vysoké učení technické v Praze.

[4] DORDA, Michal. 2. část: Základy matematického programování, dopravní úloha. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. InNet: Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava. [online]. © 2012 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~dor028/Dopravni_uloha.pdf

[5] DOSKOČIL, Radek, 2011. Kvantitativní metody: studijní text pro prezenční a kombinovanou formu studia. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-80-214-4247-4.

[6] FIALA, Petr. *Analýza možností zvýšení konkurenceschopnosti železniční dopravy ve srovnání s jinými druhy dopravy v prostředí ČR* [online]. Pardubice, 2011 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/42459/FialaP_AnalyzaMoznosti_JM_2011.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.

[7] GROS, Ivan, 2003. Kvantitativní metody v manažerském rozhodování. 1. vyd. Praha: Grada. Expert (Grada). ISBN 80-247-0421-8.

[8] JABLONSKÝ, Josef. Operační výzkum. II. vydání. Praha: Ediční oddělení VŠE Praha, 1998. 297 s. ISBN 80-7079-597-2.

[9] JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. Praha: Professional Publishing, 2002. ISBN 80-86419-23-1.

[10] KUBIŠOVÁ, Andrea. *Operační výzkum*. 1. vyd. Jihlava: Vysoká škola polytechnická Jihlava, 2014. 178 s. ISBN 978-80-87035-83-2 il.

[11] MALÁ, Hana, 2005. Lineární programování. Brno. Diplomová práce. MASARYKOVA UNIVERZITA V BRNĚ. Vedoucí práce PhDr. Jiřina Novotná, Ph.D.

[12] MARTINOVSKÁ, Veronika. *Optimalizace lokalizace skladových kapacit logistického řetězce* [online]. Mladá Boleslav, 2014 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://is.savs.cz/lide/clovek.pl?zalozka=7;id=1985;studium=3498;zp=2018;dinfo_jazyk=1;interni_vzorek=1985. Diplomová práce. ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA, O.P.S.

[13] PUKLICKÝ, Jan. *Metody operačního výzkumu jako podpora manažerského rozhodování* [online]. Pardubice, 2015 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/60340/PuklickyJ_MetodyOperacniho_BL_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, fakulta ekonomicko-správní.

[14] RADA, V. *Teorie měření a regulace-Modul 05.* Teorie měření a regulace. 2007. VUT v Brně, Fakulta stavební-Intranet: ÚAIU, 2007. p. 1-65.

[15] SEĎA, Petr. *Softwarová podpora matematických metod v ekonomice a řízení* [online]. Opava, 2013 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: https://www.slu.cz/file/cul/f824b294-b7e1-430f-a520-9652f6699b97. Slezská univerzita v Opavě.

[16] ŠUBRT, Tomáš. *Ekonomicko-matematické metody*. 2. upravené vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2015. ISBN 978-80-7380-563-0.

[17] ZÁHOROVSKÝ, Radek, 2011. Aplikace směšovací úlohy při tvorbě marketingové kampaně. Praha. Bakalárska práca. Vysoká škola ekonomická v Praze.

[18] WISNIEWSKI, Mik. *Metody manažerského rozhodování*. Praha: Grada, 1996. ISBN 80-7169-089-9.

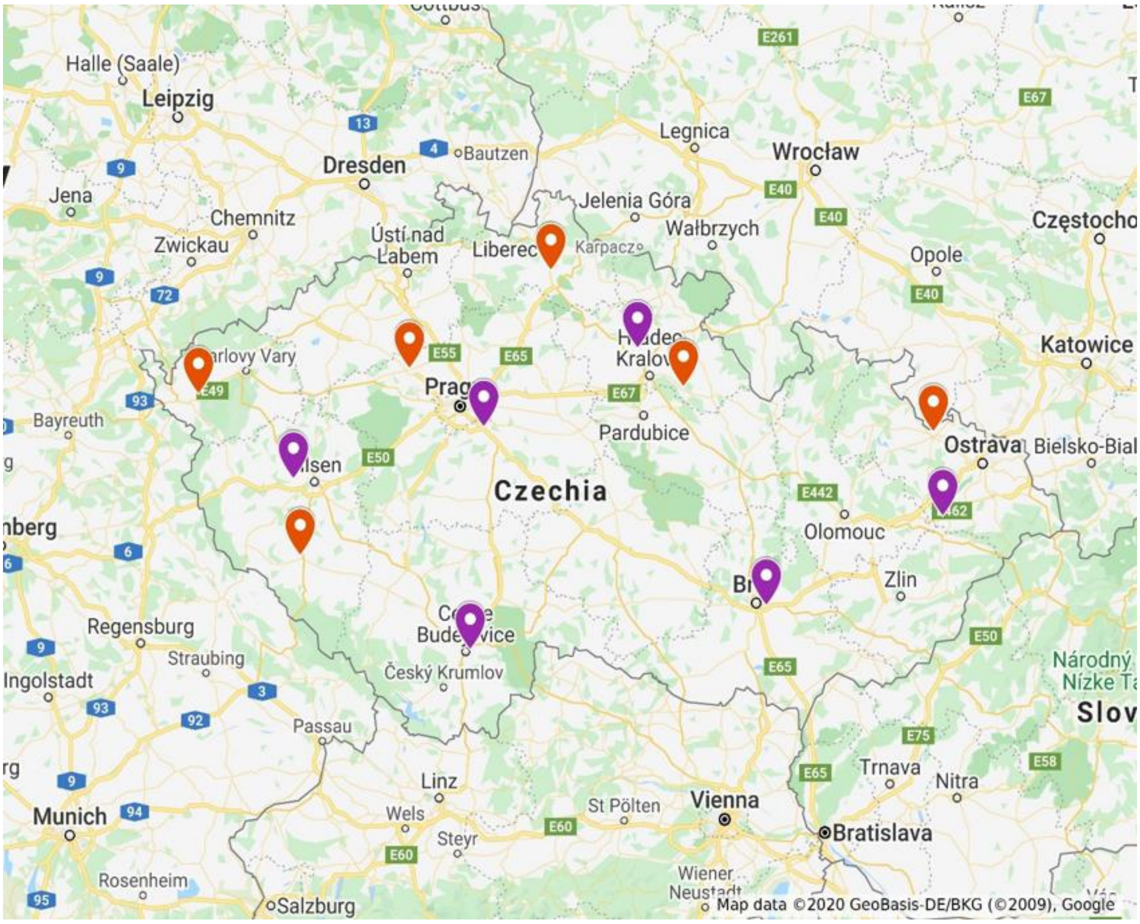
[19] ZIMOLA, Bedřich, 2000. Operační výzkum. Vyd. 2. nezměn. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta managementu a ekonomiky ve Zlíně. ISBN 80-214-1664-5.

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy



Dodavatelé a odběratelé

- D1- Brno
- D2- České Budějovice
- D3- Modletice
- D4- Myslinka
- D5- Starý Jičín
- D6- Želkovice
- O1- Kynšperk nad Ohří
- O2- Klatovy
- O3- Slaný
- O4- Opava
- O5- Hodkovice
- O6- Týniště nad Orlicí

Příloha 1: Místa dodavatelů a odběratelů (Zdroj: Vlastní práce)